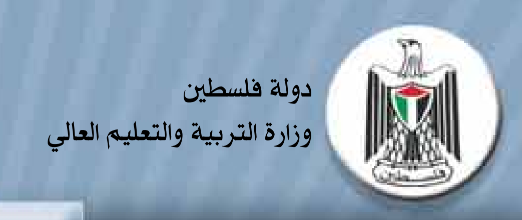




الفرع الصناعي

الالكترونيات الصناعية

للصف الأول الثانوي - الجزء الأول



بسم الله الرحمن الرحيم



دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

الكترونيات صناعية

علم الصناعة

الجزء الأول

للصف الأول الثانوي

الفرع الصناعي

المؤلفون

ناصر درويش «منسقاً للكهرباء»
أيمن جرابعة
هاشم الشولي
جهاد دريدي «منسقاً للالكترونيات»
يوسف شقير
باسل عبد الحق
مازن ذيب
صلاح حمايل
عثمان إرفاعية

ابراهيم قدح «مركز المناهج»



قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس كتاب الالكترونيات الصناعية في مدارسها للعام الدراسي ٢٠٠٥ / ٢٠٠٦م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص

مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

مركز المناهج

إشراف تربوي : د.عمر أبوالحمص

الدائرة الفنية

- **إشراف إداري:** رائد بركات
- **تصميم:** عبد الجبار دويكات، موفق حماد، بشار القريوتي
- **الإعداد المحوسب للطباعة:** حمدان بحبوح

الفريق الوطني لإعدا د الخطوط العريضة لمنهاج التعليم المهني والتقني / الفرع الصناعي

تخصص: الكترونيات صناعية

سعيد جاد الحق   يوسف شقير   علي الزيتاوي

الطبعة الأولى التجريبية
٢٠٠٥م / ١٤٢٦ هـ

مركز المناهج – حي المصيون – شارع المعاهد – أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة
ص .ب ٧١٩ – رام الله – فلسطين
تلفون ٢٩٦٩٣٥٠-٢-٩٧٠+ ، فاكس ٢٩٦٩٣٧٧-٢-٩٧٠+
الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps – العنوان الالكتروني: pcdc@palnet.com

تمهيد

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهمّاً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وهوحق إنساني، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي، أحد عناصر المنهاج؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم: الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة.

أقرت الوزارة هذا العام (٢٠٠٥/ ٢٠٠٦)م تطبيق المرحلة الأولى من خطتها لمنهاج التعليم التقني والمهني، لكتب الصف الأول الثانوي (١١) بفروعه: الصناعي، والزراعي، والتجاري، والفندقي، والاقتصاد المنزلي(التجميل، تصنيع الملابس)وعدد الكتب ٦٤ كتاباً نظري وعملي، وسيتبعها كتب منهاج الصف الثاني الثانوي (١٢) في العام المقبل. وبها تكون وزارة التربية والتعليم العالي قد أكملت إعداد جميع الكتب المدرسية للتعليم العام للصفوف(١-١٢)، وتعمل الوزارة حالياً على توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وعمل دراسات تقويمية وتحليلية لمناهج المراحل الثلاث، في جميع المباحث (أفقياً وعمودياً)؛ لمواصلة التطوير التربوي، وتحسين نوعية التعليم الفلسطيني.

وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الأحد عشر حتى الآن، وعددها يقارب ٣٥٠ كتاباً، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنويّاً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها، وترى الوزارة الطبعات من الأولى إلى الرابعة طبعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة. إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهريّاً في التعليم، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة، بمنهجية رسخها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لايسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات التربوية الوطنية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كلٌّ حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركزالمناهج، والإقرار، والمؤلفين، والمحررين، والمشاركين بورشات العمل، والمصممين، والرسامين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج
أيلول ٢٠٠٥ م



مقدمة

الحمد لله رب العالمين . . والصلاة والسلام على أشرف الخلق والمرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد،

فهذا هو الكتاب النظري لتخصص الإلكترونيات الصناعية للصف الأول الثانوي، الجزء الأول وقد تم تأليف الوحدات حسب الخطوط العريضة التي أعدت لهذا التخصص . وتم مراعاة التدرج في طرح المفاهيم ليتمكن الطالب من استيعابها وفهمها .

قسم الكتاب إلى أربع وحدات رئيسية، وقسمت كل وحدة إلى مجموعة من الدروس تغطي مفاهيماً محددة . ففي الوحدة الأولى تم التركيز على أساسيات الكهرباء بدءاً من النظرية الذرية وتقسيم المواد إلى مواد موصلة ومواد عازلة ومواد شبه عازلة وتبيان أهمية شبه الموصلة في علم الألكترونيات . أما في الوحدة الثانية تم استعراض الدارة الكهربائية البسيطة وقانون أوم وكيرشوف . وفي الدروس الأخيرة طرحت مفاهيم الطاقة والقدرة والمواسعات وكيفية حساب الأحمال الكهربائية .

أما في الوحدة الثالثة فقد تم استعراض مباديء التيار المستمر والتيار المتناوب والمحولات الكهربائية والتركيز على فهم قانون كيرشوف . وعلاقة التيار والفولطية في كل من الملفات والمواسعات وأيضاً طبيعة عمل المحول الكهربائي والعلاقة بين التيار والفولطية وعدد لفات المحول .

وفي الوحدة الرابعة تم تقديم المواد شبه الموصلة كمدخل إلى الثنائيات حيث تم التطرق إلى وصله س–م وخصائص الثنائيات وطرق الانحياز الأمامي والعكسي ودارات الثنائيات البسيطة، كذلك تم تقديم عمل الثنائيات في دوائر التيار المتناوب والاستفادة منها في تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر .

وإننا إذ نضع هذا الجهد بين أيدي زملائنا المهندسين والمعلمين ، لنرجو الله أن نكون قد أسهمنا في تلبية حاجاتهم في تغطية المواضيع بصورة كاملة . وفي الوقت نفسه فإن هذه طبعة تجريبية ولذلك نتأمل بأن لا تبخلوا علينا باقتراحاتكم وملاحظاتكم والتي من شأنها أن تعزز وتثري محتوى المنهاج .

المؤلفون

والله ولي التوفيق

المحتويات

الوحدة الأولى

أساسيات الكهرباء

الوحدة الثانية

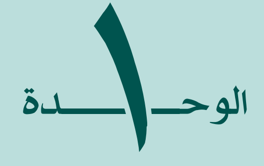
دارات التيار المستمر

الوحدة الثالثة

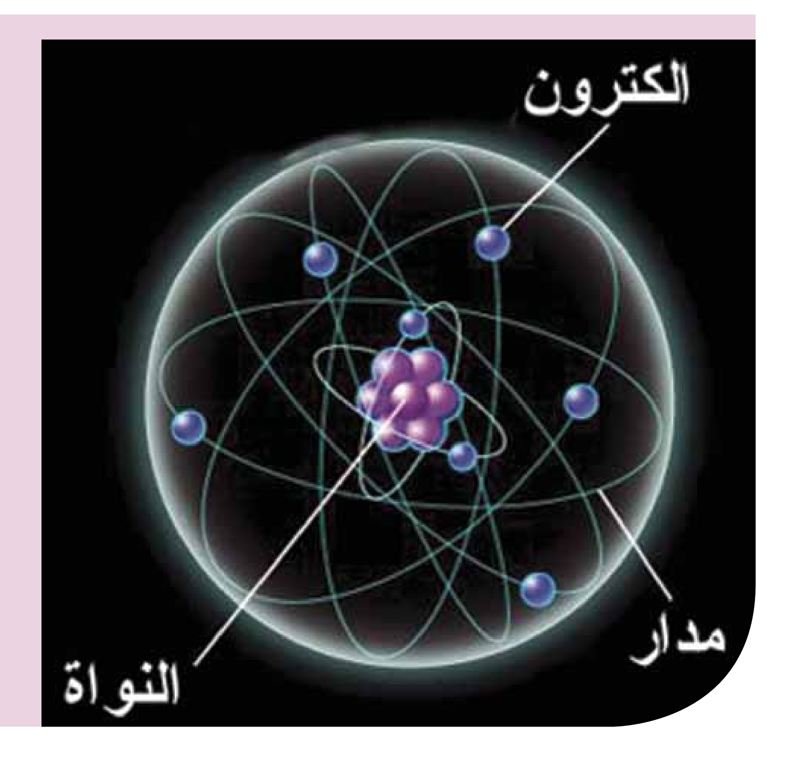
دارات التيار المتناوب

الوحدة الرابعة

الثنائيات



أساسيات الكهرباء





النظرية الذرية والكهرباء الساكنة

تناولت في دراستك السابقة النظرية الذرية ، ولهذه النظرية أهمية خاصة في علم الكهرباء ، حيث تستخدم في تفسير الخصائص الكهربائية للمواد وسريان التيار الكهربائي وتأثيراته المختلفة .

١ الذرة وتركيبها

الذرة (Atom)هي وحدة بناء المادة، ولكل عنصر ذرة خاصة به تختلف في تركيبها عن ذرات العناصر الأخرى . والذرة صغيرة جداً حيث أن واحد سنتمتر مكعب من النحاس يتكون من 10^{24} ذرة نحاس . تتكون الذرة من نواة ثقيلة نسبياً تدور حولها الإلكترونات في مدارات وعلى سبيل المثا ل كي يوضح الشكل (١) مكونات ذرة الكربون .

أ النواة (NUCLEUS) :

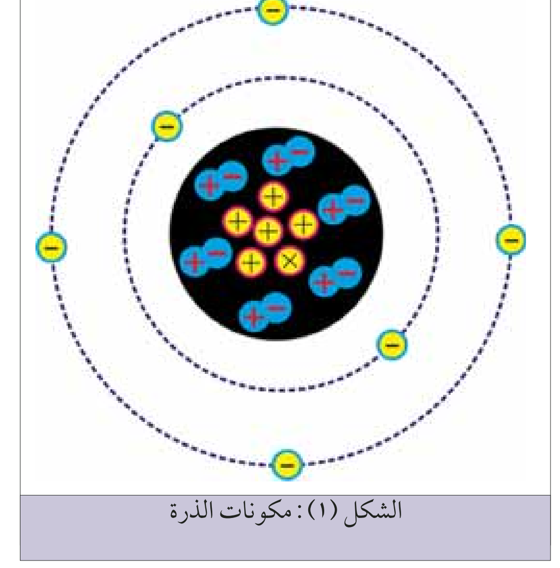
تحتوي نواة الذرة كما هو موضح في الشكل (١) من الجسيمات التالية :

١ البروتونات (Protons) :

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية موجبة .

٢ النيوترونات (Neutrons) :

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية متعادلة .



الشكل (١) : مكونات الذرة

ب الإلكترونات (Electrons) :

وهي جسيمات خفيفة جداً تحمل شحنة كهربائية سالبة مساوية لشحنة البروتون من حيث المقدار وتساوي (1.6×10^{-19} c) وتدور الإلكترونات حول النواة في مدارات على شكل طبقات .

٢ توزيع الإلكترونات حول النواة

تختلف العناصر عن بعضها، من حيث وزنها وصفاتها، باختلاف تكوين ذرة كل عنصر منها . وتختلف ذرة أي عنصر عن ذرة عنصر آخر في عدد بروتوناتها ونيوتروناتها و إلكتروناتها . أما عدد المدارات التي تدور فيها الإلكترونات حول النواة، فيعتمد على عدد إلكترونات الذرة . ولكل مدار من هذه المدارات سعة قصوى من الإلكترونات . ولكن يمكن أن يتواجد في أي مدار عدد من الإلكترونات أقل من سعته القصوى . والسعة القصوى لكل مدار هي كما يلي :

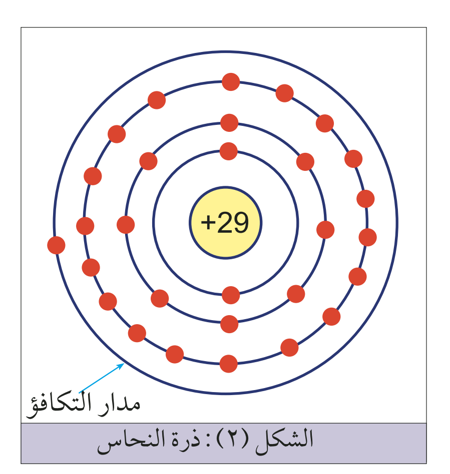
المدار الأول : (2) إلكترون	المدار الثاني : (8) إلكترون .
المدار الثالث : (18) إلكترون	المدار الرابع : (32) إلكترون

وتعطى السعة القصوى من الإلكترونات لكل مدار بالقانون التالي :

السعة القصوى من الإلكترونات في المدار= $2N^2$

حيث : (N) رقم المدار .

وكمثال للقاعدة أعلاه خذ ذرة النحاس ، حيث تحتوي نواتها على تسع وعشرين بروتون و تسع وعشرين نيوترون كما هو مبين في الشكل (٢) . وبالتمعن في الشكل (٢) ، تجد أن المدار الأول ممتلئ لسعته القصوى وهي (2) إلكترون ، والمدار الثاني ممتلئ لسعته القصوى وهي (8) إلكترون ، والمدار الثالث ممتلىء لسعته القصوى وهي (18) إلكترون ، أما المدار الرابع (الأخير) يحتوي على إلكترون واحد فقط ، أي إنه غير ممتلئ كلياً لأن سعته القصوى هي (32) إلكتروناً .



الشكل (٢) : ذرة النحاس

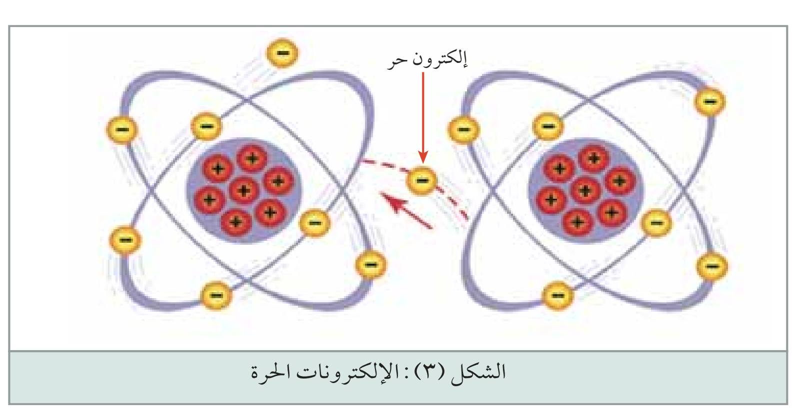
يسمى المدار الأخير(الخارجي) في الذرة مدار التكافؤ(Valence)وبالتالي فإن الإلكترونات في هذا المدار تسمى إلكترونات التكافؤ(Valence Electrons) . أن لإلكترونات التكافؤ أهمية كبيرة خاصة في علم الكهرباء ، لأنها الإلكترونات التي يمكن تحريرها بسهولة .

٣ الإلكترونات الحرة (Free Electons)

ترتبط الإلكترونات السالبة القطبية مع النواة الموجبة القطبية بقوة جذب تعتمد على بعد مداراتها عن تلك النواة . فكلما كان المدار قريباً من النواة كانت قوى الجذب بينهما أكبر . وكلما ابتعد المدار عن النواة كانت قوة الجذب أقل . ومن ناحية أخرى تكون طاقة الألكترون أكبر كلما كان يدور في مدار أعلى . وإذا اكتسب الألكترون طاقة إضافية فإنه ينتقل من مداره إلى مدار أعلى أو يفلت ويصبح حر الحركة .

إلكترونات التكافؤ هي الأبعد عن النواة وبالتالي تتعرض إلى اقل قوة جذب من النواة .

إذا تمعننا في تركيب ذرة النحاس المبين في الشكل(٢) ، نلاحظ أن مدار التكافؤ يحوي إلكتروناً واحداً فقط ، وهو أبعد إلكترون عن النواة ،

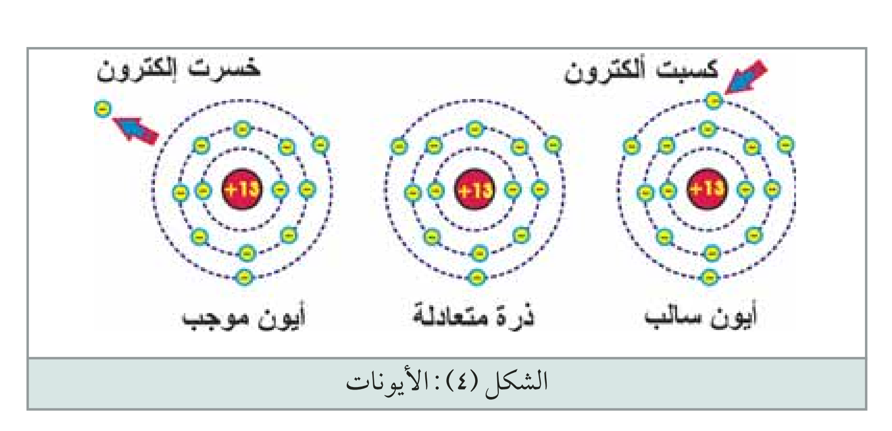


الشكل (٣) : الإلكترونات الحرة

وبالتالي فهو يتعرض إلى اقل قوة جذب من النواة. وهذا إلكترون يمكن أن يفلت من سيطرة النواة ويصبح حراً يتجول عشوائياً بين ذرة وأخرى إذا اكتسب طاقة إضافية مثل الحركة داخل مجال مغناطيسي أو الاحتكاك أو التفاعل الكيميائي أو الضوء أو مجرد قوة التنافر مع إلكترونات الذرات المجاورة، لاحظ الشكل (٣) وهكذا فإن قطعة من سلك نحاس تحوي ملاين الإلكترونات الحرة التي تتجول ضمن التركيب الذري للمادة مما يجعل النحاس موصل جيد للتيار الكهربائي.

٤ الأيونات - IONS

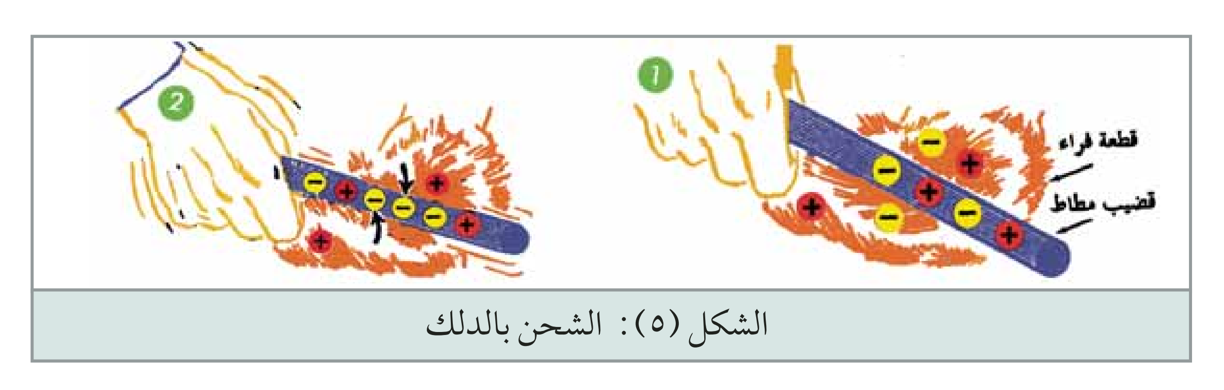
تكون الذرة متعادلة كهربائياً عندما يكون عدد إلكتروناتها مساوياً لعدد بروتوناتها. أما إذا فقدت هذه الذرة إلكتروناً واحداً أو أكثر، يصبح عدد بروتوناتها الموجبة أكثر من عدد إلكتروناتها السالبة. وتصبح الذرة مشحونة بشحنة كهربائية موجبة، وتسمى عندئذ "أيوناً موجباً". أما إذا اكتسبت الذرة إلكتروناً واحداً أو أكثر فإنها تصبح مشحونة بشحنة سالبة، وتسمى عندئذ "أيوناً سالباً"، لاحظ الشكل (٤). إن الأيونات السالبة والموجبة هي الأساس في حدوث تيار كهربائي سواء في الغازات أو في المحاليل الإلكتروليتية(المحاليل المتأينة الموصلة لتيار الكهربائي).



الشكل (٤): الأيونات

٥ الكهرباء الساكنة والشحنة الكهربائية

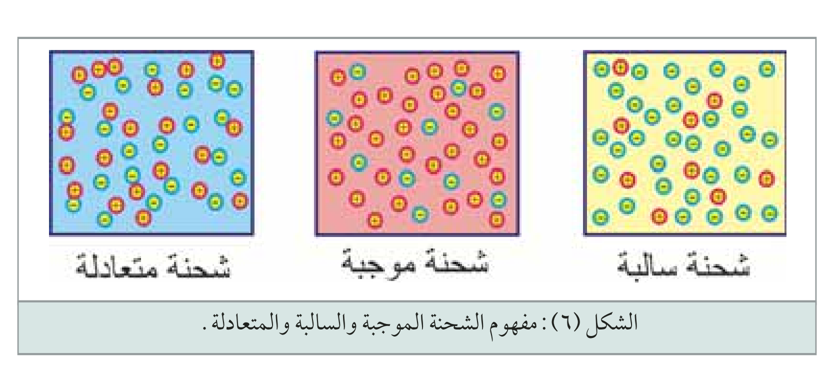
عند دلك قضيب من المطاط بقطعة من الفراء تنفصل (بفعل الدلك) بعض الإلكترونات عن قطعة الفراء



الشكل (٥): الشحن بالدلك

وتلتحق بذرات قضيب المطاط. وبهذا تصبح شحنة قضيب المطاط سالبة (بها فائض من الإلكترونات) في حين تصبح شحنة قطعة الفراء موجبة (بها نقص في الإلكترونات) كما هو موضح في الشكل (٥).

الشكل (٥) يظهر إلى اليمين تعادل الشحنات في قطعة الفراء وقضيب المطاط، وإلى اليسار قضيب المطاط وقد أصبح سالب الشحنة وقطعة الفراء وقد أصبحت موجبة الشحنة . وبهذا يتبين إن عملية شحن جسم بشحنة كهربائية سالبة، هي في الواقع إضافة إلكترونات سالبة إلى ذرات ذلك الجسم . أما شحن جسم بشحنة كهربائية موجبة هي في الواقع نزع إلكترونات من ذرات ذلك الجسم، لاحظ الشكل (٦)



الشكل (٦) : مفهوم الشحنة الموجبة والسالبة والمتعادلة .

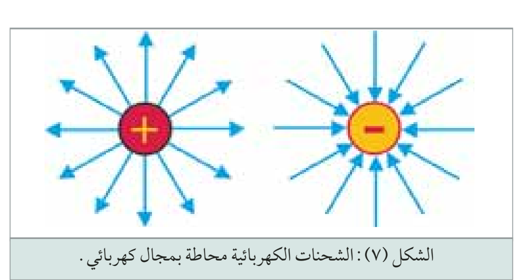
٦ الكولوم

يحدد مقدار الشحنة الكهربائية التي يحملها جسم معين بعدد الإلكترونات التي فقدتها أو اكتسبتها ذرات ذلك الجسم . فإذا فقدت ذراته إلكتروناً أو أكثر تكون شحنته موجبة، وإذا اكتسبت إلكتروناً أو أكثر تكون شحنته سالبة . تعرف وحدة قياس الشحنة الكهربائية بـ " الكولوم " .

الكولوم هي قيمة تساوي مجموع شحنات (6.25×10^{18}) إلكتروناً . إن الجسم الذي يكتسب هذا العدد من الإلكترونات، يحمل شحنة سالبة تساوي (1)كولوم . والجسم الذي يفقد هذا العدد من الإلكترونات، يحمل شحنة موجبة تساوي (1)كولوم .

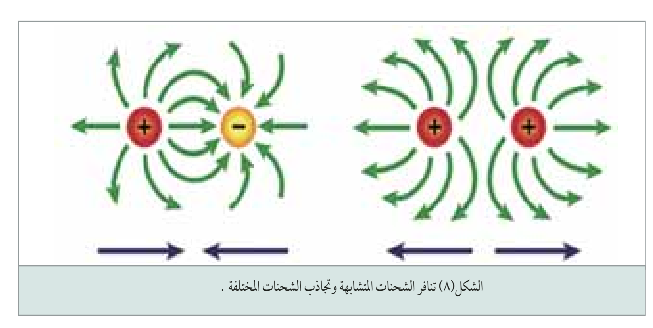
٧ المجال الكهربائي

تعمل الشحنة الكهربائية الموجودة في مكان ما على إحداث أثر في الوسط المحيط بها بحيث تتأثر أي شحنة كهربائية توضع فيه بقوة كهربائية، عندئذ يقال إن مجالاً كهربائياً يؤثر في هذا الوسط . يتم تمثيل المجال الكهربائي بخطوط وهمية تسمى خطوط المجال الكهربائي ، ويمثل كل خط من خطوط المجال مسار وحدة الشحنات الموجبة، اذ تتحرك هذه الشحنة بتأثير القوة التي يمارسها المجال عليها . ترسم خطوط المجال الكهربائي بحيث تدل كثافة هذه الخطوط في منطقة ما على شدة المجال الكهربائي . ومن أهم مميزات خطوط المجال الكهربائي ما يلي :


الشكل (٧) : الشحنات الكهربائية محاطة بمجال كهربائي .

أ الجسم المشحون بشحنة كهربائية سالبة محاط بمجال الكهربائي تتجه خطوطه نحو مركز الشحنة، وتقل كثافتها كلما ابتعدنا عن الشحنة، لاحظ الشكل (٧) .

ب الجسم المشحون بشحنة كهربائية موجبة محاط بمجال الكهربائي تنطلق خطوطه من مركز الشحنة



الشكل (٨) تنافر الشحنات المتشابهة وتجاذب الشحنات المختلفة .

إلى الخارج ، وتقل كثافتها كلما ابتعدنا عن الشحنة، لاحظ الشكل (٧) .

ج خطوط المجال الكهربائي لا تتقاطع .

ويبين الشكل (٨) أن تداخل خطوط المجال مع بعضها يؤدي إلى تنافر الشحنات المتشابهة . إن خطوط المجال لا تتقاطع مع بعضها داخلياً، وبالنتيجة تحاول كل شحنة أن تبتعد عن الأخرى . كما يبين الشكل(٨)شحنات مختلفة هنا يتصل المجالان مع بعضهما داخلياً، وبالنتيجة تتجاذب الشحنات وتتحركان باتجاه بعضهما .

بما أن هناك تنافراً و تجاذباً بين الشحنات الكهربائية ، فمعنى ذلك أن هناك قوى متبادلة بينهما تؤدي إلى تنافرها أو تجاذبها ، وحيث أن هذه القوى ناشئة عن الشحنات الكهربائية تسمى القوة الكهربائية . وبناءً على قانون كولوم فإن القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين نقطتين تتناسب تناسبا طردياً مع مقدار كل من الشحنتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما .



أسئلة الدرس

أملأ الفراغ بالكلمة أو العبارة المناسبة :

١ .... هي وحدة بناء العنصر ، وتتكون من نواة ثقيلة نسبياً تدور حولها الإلكترونات .

٢ تتكون نواة الذرة من ثلاثة جسيمات مختلفة هي : .... و .... و ....

٣ شحنة الالكترون..................... ، شحنة البروتون..................... ، شحنة النيوترون.....................

، شحنة النواة .... ، شحنة الذرة ....

٤ يحتوي المدار الأول للذرة ( ) إلكترون، والثاني ( ) إلكترون، والثالث ( ) إلكترون كحد أقصى .

٥ يسمى المدار الأخير للذرة مدار.................................... .

٦ الالكترون الحر هو الكترون ....

٧ تكون الذرة متعادلة كهربائياً عندما يكون عدد إلكتروناتها .... لعدد بروتوناتها .

٨ الذرة التي تفقد إلكتروناً تسمى " .... " ، والذرة التي تكتسب إلكتروناً تسمى " .... " .

٩ في الغازات والمحاليل الإلكتروليتية فإن .... و .... هي الأساس في حدوث التيار الكهربائي، بينما في المواد الموصلة فإن .... هي الأساس في حدوث التيار الكهربائي .

١٠ الشحنات المتشابهة .... والشحنات المختلفة................................

١١ .... هو وحدة قياس الشحنة الكهربائية، ويساوي مجموع شحنات (6.25x10^{18}) إلكترون .



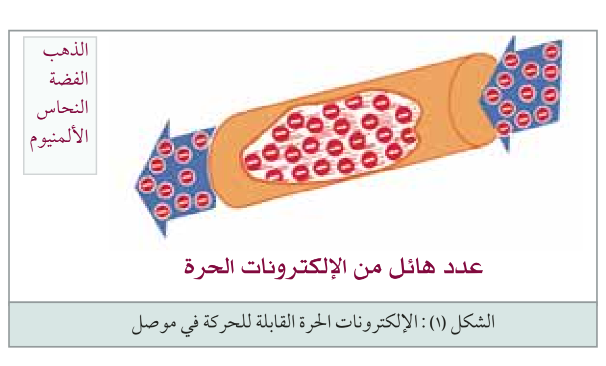
الموصلات والعوازل - التيار والجهد الكهربائي

١ المواصلات والعوازل

يتم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية بوساطة نواقل من أنواع ومقاسات مختلفة. تتكون هذه النواقل من قلب وغلاف. فالقلب عبارة عن مادة موصلة للكهرباء، والغلاف عبارة عن مادة عازلة للكهرباء. وعموماً تقسم المواد من حيث توصيلها للتيار الكهربائي إلى ثلاثة أقسام، هي:

أ المواد الموصلة (Conductors)

وهي المواد التي تسمح بمرور التيار الكهربائي عبرها مثل المعادن بمختلف أنواعها. ويرجع السبب في ذلك إلى تركيبها الذري حيث تحتوي على عدد هائل من الإلكترونات الحرة القابلة للحركة تحت تأثير قوة خارجية كمصدر جهد كهربائي أو بطارية، كما موضح في الشكل (١)



الشكل (١): الإلكترونات الحرة القابلة للحركة في موصل

إن الفضة والنحاس والذهب والألمنيوم هي من الموصلات الممتازة. ولكن نادراً ما تستخدم الفضة أو الذهب في عمل الموصلات بسبب ارتفاع ثمنها. أما النحاس فيستخدم في شبكات التمديدات الداخلية والأجهزة الكهربائية والإلكترونية، في حين يستخدم الألمنيوم في شبكات نقل وتوزيع الكهرباء الخارجية.

ب المواد العازلة (Insulators)

وهي المواد التي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي عبرها مثل الخشب والزجاج والمطاط والبلاستك. ويرجع السبب في ذلك إلى تركيبها الذري حيث تحتوي على عدد قليل جداً من الإلكترونات الحرة القابلة للحركة تحت تأثير جهد كهربائي كما موضح في الشكل (٢).



الشكل (٢): مادة عازلة ويظهر فيها عدد قليل جداً الإلكترونات الحرة القابلة للحركة

للمواد العازلة أهمية كبيرة في الأنظمة الكهربائية نظراً لاستعمالاتها المتعددة. فمثلاً، يستخدم البلاستيك في تغطية الأسلاك الكهربائية لحماية الإنسان من الصدمة الكهربائية.

ج أشباه الموصلات (Semiconductos)

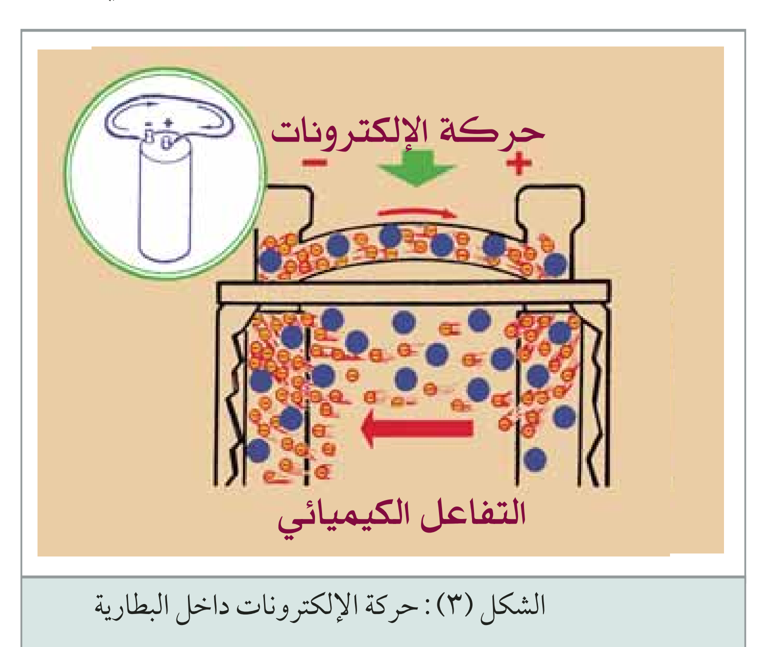
هي مواد وسط بين المواد العازلة والمواد الموصلة، أي إنها في حالتها النقية عند درجة حرارة الصفر المطلق تكون عازلة للكهرباء ويتم التحكم بموصليتها عن طريق اضافة بعض الشوائب إليها. ولأشباه الموصلات أهمية خاصة في مجال الهندسة الإلكترونية الحديثة حيث تستخدم في صناعة جميع العناصر الإلكترونية مثل الترانزستورات والدارات المتكاملة. ومن أهم المواد شبه الموصلة المستخدمة في هذا المجال: السيليكون ومن ثم الجرمانيوم.

٢ التيار الكهربائي (Electrical Current)

التيار الكهربائي هو عبارة عن حركة موجهة للإلكترونات الحرة من نقطة إلى أخرى عبر موصل. ولكي تتحرك هذه الإلكترونات عبر الموصل، لا بد أن يؤثر عليها قوة خارجية. ونحصل على هذه القوة من مصدر الطاقة الكهربائية.

وأحد هذه المصادر هو البطارية العادية

تستخدم البطارية "التفاعل الكيميائي" لتوليد زيادة في عدد الإلكترونات عند أحد القطبين، ونقص في عددها عند القطب الآخر. لذلك يطلق على القطب الأول اسم "القطب السالب"، ويرمز له بإشارة "–". ويطلق على القطب الثاني اسم "القطب الموجب"، ويرمز له بإشارة "+". يبين الشكل (٣) سلك نحاس موصل بقطبي بطارية. وبالتمعن في هذا الشكل، يلاحظ بأن القطب السالب للبطارية يقوم بإبعاد الإلكترونات الحرة عنه، في حين يقوم القطب الموجب بجذبها إليه. وبالنتيجة تتحرك الإلكترونات الحرة من القطب السالب إلى القطب الموجب عبر السلك. إن هذه الحركة الموجهة للإلكترونات الحرة تسمى "سريان التيار الكهربائي". ويقال في هذه الحالة إن هناك تيار كهربائي يسري في السلك.



الشكل (٣): حركة الإلكترونات داخل البطارية

عندما تدخل الإلكترونات الحرة الطرف الموجب للبطارية، تلتقطها الأيونات الموجبة. ولاستمرار سريان التيار الكهربائي، يستمر التفاعل الكيميائي داخل البطارية ويطلق باستمرار إلكترونات حرة وأيونات موجبة جديدة.

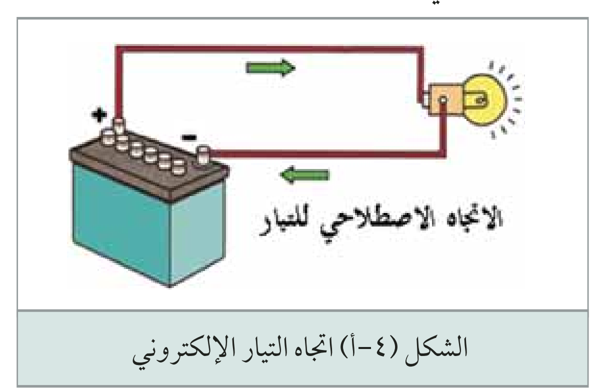
ملاحظة:

لقد وضع هذا المثال فقط لتوضيح مفهوم سريان التيار الكهربائي، بينما في الواقع لا يمكن وصل سلك بين طرفي البطارية بشكل مباشر، لأن ذلك يؤدي إلى مرور تيار كبير وتفريغ سريع للبطارية بسرعة، مما يؤدي إلى تلفها .

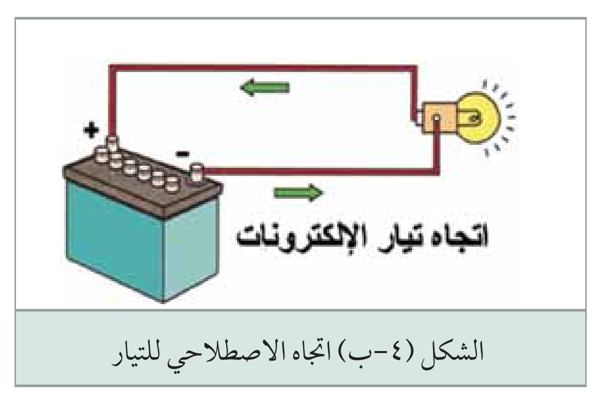
٣ إتجاه التيار الكهربائي

لاحظت في الشكل (٣) بأن الإلكترونات تتحرك عبر الموصل من الطرف السالب للبطارية إلى الطرف الموجب، وبالتالي يكون اتجاه التيار (تيار الإلكترونات) من القطب السالب إلى القطب الموجب كما هو مبين في يمين الشكل ٤- أ.

لقد اصطلح على أن يكون اتجاه سريان التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب كما مبين في يسار الشكل ٤- ب ، أي بعكس اتجاه سريان الإلكترونات. وقد تبنى العلماء الاتجاه الاصطلاحي للتيار الكهربائي قبل وضع النظرية الذرية للكهرباء. ومع ذلك، فإن العديد من المراجع والكتب لا زالت تستعمل الاتجاه الاصطلاحي للتيار الكهربائي.



الشكل (٤-أ) اتجاه التيار الإلكتروني



الشكل (٤-ب) اتجاه الاصطلاحي للتيار

٤ شدة التيار الكهربائي (Current Intensity)

ذكرنا في الفقرات السابقة بأن التيار الكهربائي عبارة عن سيل من الإلكترونات الحرة يتدفق عبر موصل في اتجاه معين . فإذا تدفق عدد قليل من الإلكترونات تكون شدة التيار منخفضة أما إذا تدفق عدد كبير من الإلكترونات تكون شدة التيار مرتفعة . وتعرف شدة التيار الكهربائي بأنها كمية الشحنة الكهربائية التي تعبر مقطعاً معيناً في الموصل في وحدة الزمن(الثانية)، أي معدل تدفق الشحنة الكهربائية ، وبالتالي :

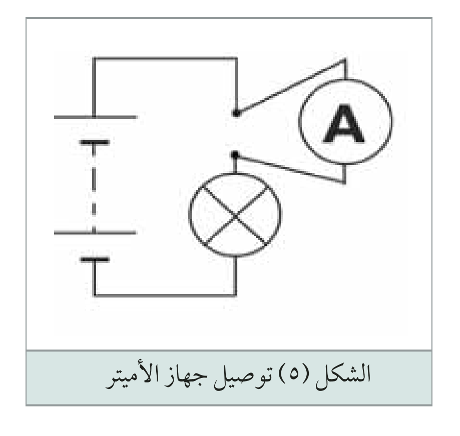
$$\text{شدة التيار} = \frac{\text{كمية الشحنة الكهربائية(بالكولوم)}}{\text{الزمن(بالثانية)}}$$

ويتبين من المعادلة السابقة أن وحدة شدة التيار الكهربائي هي وحدة الشحنة مقسومة على وحدة الزمن، أي كولوم لكل ثانية، وتعرف هذه الوحدة باسم (أمبير)، نسبة إلى العالم اندرية ماري أمبير.

أحيان كثيرة يكون "الأمبير" وحدة كبيرة جداً، لذا تستخدم وحدات أصغر منه كالميلي أمبير الذي يساوي (0,001) أمبير ويرمز له بالأحرف (mA). وبتعبير آخر فإن (1000)ميلي أمبير يساوي (1) أمبير. والجدول التالي يوضح شدة التيار الذي تعمل عليه بعض الأجهزة الشائعة الاستخدام في الحياة العملية :

الجهاز	شدة التيار
مصابيح الإضاءة	(0.1-0.6) أمبير
المكاوي الكهربائية	(2-5) أمبير
الثلاجة المنزلية	(1.5-2.5)أمبير
المدفئة الكهربائية	(5-10)أمبير
الأفران الكهربائية	(10-15)أمبير
جهاز التلفزيون	(0.4-0.6) أمبير

تقاس شدة التيار في الدارات الكهربائية بجهاز خاص يدعى الأميتر ويرمز له بدائرة بداخلها الحرف(A). ومن الجدير بالذكر أن جهاز قياس شدة التيار(الأميتر)، يجب أن يوصل على التوالي في الدارة المراد قياس شدة التيار فيها كما في الشكل (٥).



الشكل (٥) توصيل جهاز الأميتر

٥ فرق الجهد والقوة الدافعة الكهربائية

إن أهم مستلزمات سريان التيار الكهربائي هو وجود قوة مؤثرة خارجية تجبر الإلكترونات الحرة (الشحنات) على التحرك في اتجاه معين عبر الموصل. وكما ذكرنا سابقاً، يمكنك أن تحصل على هذه القوة من مصادر الطاقة الكهربائية كالبطاريات والمولدات. وتسمى هذه القوة بأسماء عدة مختلفة، هي: القوة الدافعة الكهربائية، وفرق الجهد، والجهد الكهربائي، والفولتية. ومع اختلاف هذه المسميات إلا إنها تقريباً متشابهة وتقاس بوحدة "الفولت"، ويرمز لها بالحرف (V). ويمكن تعريفها بأنها القوة التي تجبر الإلكترونات (الشحنات) على التحرك في اتجاه معين عبر الموصل، أي تسبب سريان التيار الكهربائي.

أ فرق الجهد الكهربائي

ينشأ فرق الجهد الكهربائي عند وجود فرق في كمية الشحنات الكهربائية (الإلكترونات) بين نقطتين في

دارة كهربائية . حيث تنتقل الإلكترونات من المنطقة الغنية بالإلكترونات إلى المنطقة التي تعاني من نقص فيها . فالبطارية مثلاً ، لديها طرف سالب غني بالإلكترونات الحرة ، وطرف موجب فقير بها (بالإلكترونات الحرة) . ومن أجل أن تتعادل الشحنات ، تتوق لإلكترونات الحرة الموجودة عند الطرف السالب لتتحرك نحو الطرف الموجب . وهذا يعني وجود فرق جهد بين الطرف الموجب والطرف السالب للبطارية . وإذا وصلنا طرفي البطارية بموصل من النحاس مثلاً ، فإنه يتشكل ممر للتيار بين طرفي البطارية ، فتتحرك الإلكترونات الحرة من الطرف السالب إلى الطرف الموجب بفعل تأثير فرق الجهد . .

ب القوة الدافعة الكهربائية EMF

يبين الشكل(٤-أ) بطارية كهربائية متصلة بمحمل خارجي(مصباح) . وفقاً للاصطلاح المعروف يسري التيار الكهربائي داخل البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب ، أما في الحمل الخارجي ، فيسري التيار الكهربائي من القطب الموجب ذي الجهد الأعلى إلى القطب السالب ذي الجهد الأقل . ولكي تتحرك الشحنة دورة كاملة عليها التغلب على مقاومة الحمل وعلى المقاومة الداخلية للبطارية ، ولتحقيق ذلك تبذل البطارية على الشحنة شغلا لنقلها في الدارة الكهربائية ، إذ يكون عمل البطارية هو بذل الشغل اللازم لتمكين الشحنة من إتمام دورتها الكاملة في الدارة .

فمقدار الشغل المبذول من المصدر الكهربائي لنقل شحنة موجبة اصطلاحية مقدارها واحد كولوم خلال الدارة الكلية(داخل المصدر وخارجه)يسمى القوة الدافعة الكهربائية للمصدر الكهربائي وتقاس بوحدة الفولت .

والجدير بالذكر إن مصطلح " القوة الدافعة الكهربائية " يستخدم عادة للتعبير عن فرق الجهد بين طرفي مصدر كهربائي بدون حمل خارجي (أي في حالة عدم مرور تيار) ، وذلك لتجنب احتساب هبوط الجهد على المقاومة الداخلية للمصدر الكهربائي . ويرمز للقوة الدافعة الكهربائية باللغة العربية بالأحرف (ق . د . ك)، وباللاتينية بالأحرف .(E.M.F)

٦ الفولت

الفولت هو وحدة قياس فرق الجهد (الضغط الكهربائي أو القوة الدافعة الكهربائية)، ويرمز له بالحرف (V) . وبالتعريف ، فإن (1) فولت هو فرق الجهد اللازم لتحريك تيار شدته (1) أمبير عبر موصل مقاومته (1) أوم ، وسنشرح المقاومة بالتفصيل لاحقاً . وأجزاء الفولت المستخدمة في مجال الإلكترونيات هي :

أ الميلي فولت :

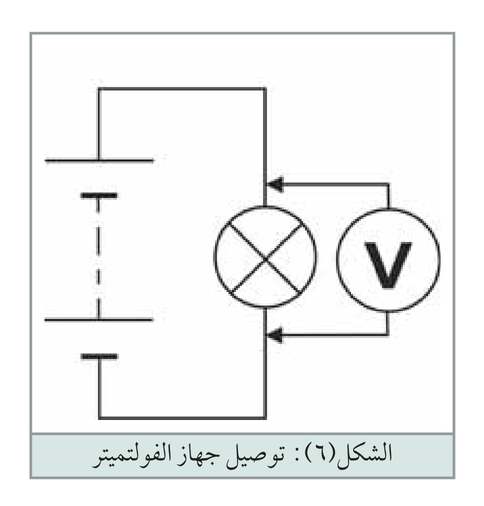
ويرمز له بالحرفين .(mV) ويساوي (10^{-3}) فولت .

ب الميكروفولت :

ويرمز له بالحرفين (μV)ويساوي(10^{-6}) فولت .

أما مضاعفات الفولت فهي : " الكيلوفولت " ويرمز لها بالحرفين (KV) وتساوي (1000) فولت .

يقاس فرق الجهد في الدارات الكهربائية بجهاز خاص يدعى الفولتميتر ويرمز له بدائرة بداخلها الحرف(V) . ومن الجدير بالذكر أن جهاز قياس فرق الجهد (الفولتميتر)، يجب أن يوصل على التوازي مع الحمل أو المصدر المراد قياس فرق الجهد بين طرفيه كما في الشكل(٦) .



الشكل(٦) : توصيل جهاز الفولتميتر

٧ الجهود المستخدمة في الحياة العملية

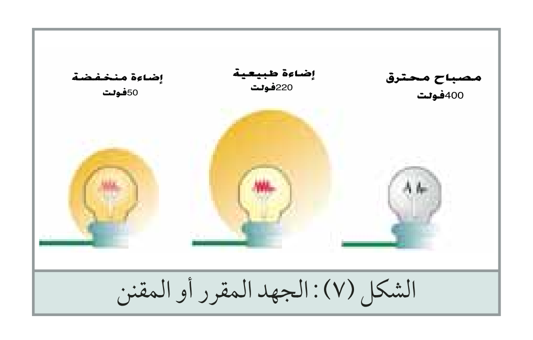
لقد اتفق على توحيد الجهود المستخدمة في البطاريات . نذكر منها جهود البطاريات الجافة مثل (1.5) و(6) و(9) فولت، وجهود البطاريات السائلة مثل (12) فولت و (24) فولت .

تختلف جهود شبكات التيار العام من بلد إلى آخر ، فالجهود المستخدمة في معظم دول العالم بما فيها الدول العربية (220) فولت، في حين إن الجهود المستعملة في أمريكا (110)فولت، وفي بريطانيا(240) فولت . أما شبكات نقل الطاقة الكهربائية (الضغط العالي)، فيتراوح جهدها بين (380000 - 6600)فولت .

٨ الجهد المقرر

لكل جهاز كهربائي قيمة جهد محددة يجب أن لا يتعداها . وتسجل عادة هذه القيمة على لوحة مواصفات الجهاز، ويسمى "الجهد المقرر أو المقنن أو الاسمي" .

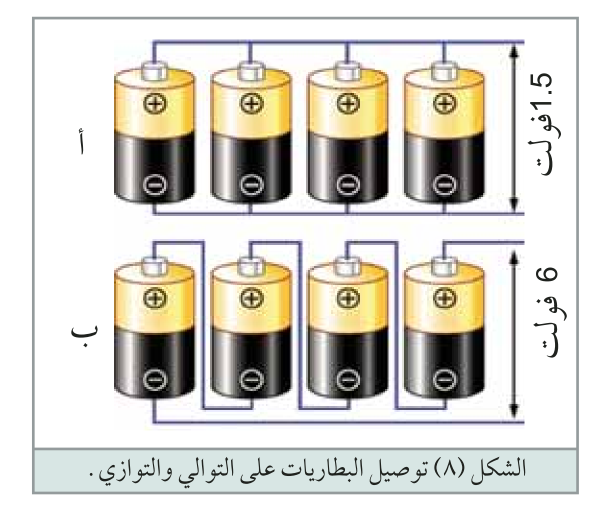
فمثلاً، يعمل المصباح المبين في الشكل (٧) على جهد كهربائي (220)فولت . فعند تعرضه لجهد(400) فولت يزداد تياره إلى أكثر مما يستطيع أن يتحمل المصباح مما يؤدي إلى إتلافه . وعند تعرضه لجهد (50)فولت، لن يكون تياره كافياً لإضاءة المصباح بشكل طبيعي .



الشكل (٧) : الجهد المقرر أو المقنن

٩ توصيل البطاريات

يمكن الحصول على جهد أعلى من القوة الدافعة الكهربائية لبطارية واحدة، بوصل عدة بطاريات على التوالي . إن الجهد الكلي للبطاريات الموصولة على التوالي يساوي مجموع جهود البطاريات المفردة . في الشكل (٨-ب) وصلنا أربع بطاريات علي التوالي، كل منها بجهد (1.5فولت)، وبذلك فإن الجهد الكلي يساوي (6 فولت) .

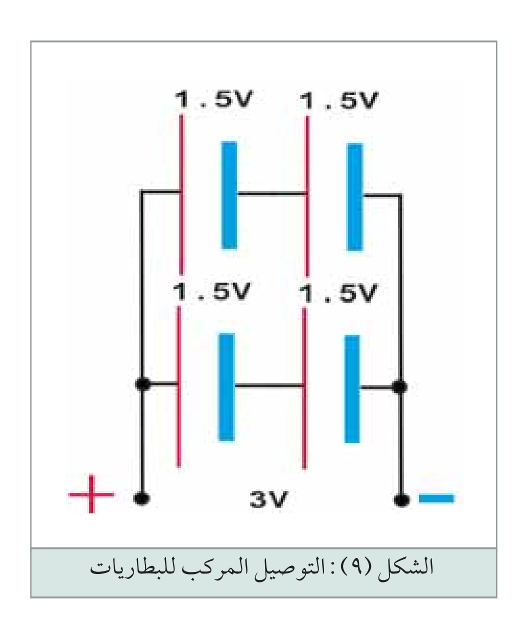


الشكل (٨) توصيل البطاريات على التوالي والتوازي .

عند وصل البطاريات على التوالي، يزداد الجهد الكلي، بينما تبقى إمكانية تزويد التيار على حالها ، لأن تيار الدارة الكلي يمر في كل بطارية، أي شدة التيار هي نفسها كما في بطارية واحدة.

عند توصيل البطاريات على التوازي، كما في الشكل (٨-أ)، تزداد إمكانية تزويد تيار أعلى في حين يبقى الجهد نفسه .

و للحصول على جهد أعلى وتيار أعلى، توصل البطاريات على التوالي والتوازي(التوصيل المركب) كما في الشكل (٩) . في هذا الشكل وصلنا بطاريتين على التوالي لنحصل على جهد (3) فولت، ثم وصلنا هذه المجموعة على التوازي مع مجموعة أخرى مماثلة بهدف مضاعفة التيار .



الشكل (٩) : التوصيل المركب للبطاريات

أسئلة الدرس الثاني

أكمل الفراغات التالية بالعبارات المناسبة

١ المواد الموصلة للكهرباء هي المواد التي ....

٢ المواد التي تحتوي على عدد هائل من الإلكترونات الحرة تسمى...

٣ من المواد الموصلة .... و... و...

٤ المواد العازلة للكهرباء هي المواد التي ....

٥ المواد التي تحتوي على عدد قليل من الإلكترونات الحرة تسمى ....

٦ من المواد العازلة .... و... و...

٧ كهربائياً، تعتبر أنصاف الموصلات في حالتها النقية عند درجة حرارة الغرفة...........................

٨ عند تطعيم المواد نصف الموصلة ببعض الشوائب تصبح ....

٩ من أهم المواد نصف الموصلة ....و...................................

١٠ تستخدم المواد نصف الموصلة في صناعة .... مثل ....
.... وقدرة المواد الموصلة على توصيل الكهرباء يرجع إلى تركيبها الذري حيث تحتوي على.................................. ، وعدم قدرة المواد العازلة على توصيل التيار الكهربائي يرجع إلى تركيبها الذري حيث تحتوي على ....

١١ يعمل التفاعل الكيميائي في البطارية على إحداث.......................... عند أحد الأطراف و.................. عند الطرف الآخر .

١٢ التيار الكهربائي عبارة عن ....
....

١٣ بحسب الاتجاه الاصطلاحي ، يكون اتجاه التيار في الدارة الكهربائية من القطب .... إلى القطب ....

١٤ يقاس التيار بـ..................... ويرمز له بالحرف (   ).

١٥ الأمبير الواحد يساوي .... كولوم/ ثانية .

١٦ إذا تدفقت كمية من الشحنة الكهربائية عبر موصل تساوي (3)كولوم في زمن مقداره (1)ثانية ، فإن شدة التيار المار في الموصل تساوي (   ) أمبير .

١٧ عادة ، يستخدم مصطلح " القوة الدافعة الكهربائية " للتعبير عن ....

١٨ أذكر وحدة قياس كل مما يلي :

أ-القوة الدافعة الكهربائية : .... ب-فرق الجهد : ....

١٩ يرمز للجهد بالحرف (   )، وللتيار بالحرف (   )، وللقوة الدافعة الكهربائية بالأحرف اللاتينية ( ) .



الدارة الكهربائية والمقاومة الكهربائية

١ الدارة الكهربائية البسيطة (Simple Electrical Circuit)

تتكون الدارة الكهربائية في أبسط أشكالها من المكونات التالية :

أ المصدر الكهربائي – Source

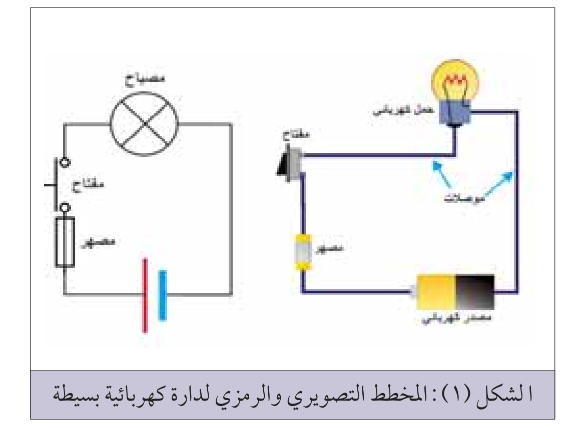
وهو الذي يوفر فرق الجهد أو الضغط الكهربائي اللازم لسريان التيار الكهربائي .

ب الحمل الكهربائي (Load)

وهو عبارة عن أحد الأجهزة الكهربائية كالمصباح أو المحرك . . . الخ .

جـ الموصلات (Conductors)

وهي تشكل مجرى سريان التيار بين المصدر الكهربائي والحمل . وغالباً ما تصنع من أسلاك نحاس أو ألمنيوم . ويمكن جعل التحكم في الدارة الكهربائية أكثر فاعلية ، وذلك بإضافة مفتاح(Switch) يوصل التيار بالحمل الكهربائي أو يفصله بسهولة ، كما يمكن إضافة مصهر(Fuse) لحماية عناصر الدارة من التيار المفرط كما مبين في الشكل (١) .



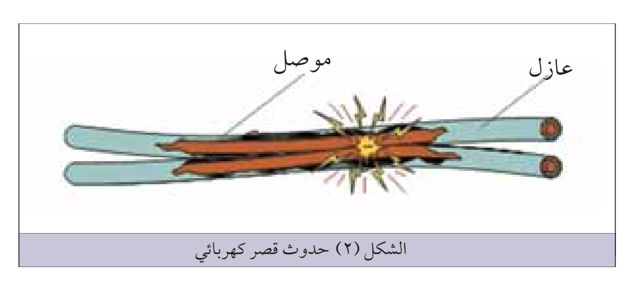
الشكل (١) : المخطط التصويري والرمزي لدارة كهربائية بسيطة

تكون الدارة الكهربائية مغلقة عندما تكون كافة أجزائها متصلة ببعضها البعض بحيث تمثل ممراً للتيار الكهربائي من أحد طرفي المصدر إلى الطرف الآخر عبر الحمل . وتكون الدارة الكهربائية مفتوحة عندما يكون أحد أجزائها معطوباً أو مفصولاً (غير متصل) بحيث يمنع مرور التيار الكهربائي .

٢ الدارة الكهربائية في حالة قصر (Short Circuit)

عندما يتصل طرفي المصدر الكهربائي بشكل مباشر بدون حمل (أي عبر مقاومة منخفضة) يتدفق تيار

هائل ينتج حرارة مرتفعة قد تؤدي إلى أتلاف بعض أجزاء الدارة الكهربائية، نقول بأنه حصل قصراً Short (Circuit في الدارة. يحدث القصر في الدارة الكهربائية من أسباب عدة، كسوء عزل الوصلات أو توصيل خاطئ في الأسلاك كما مبين في الشكل (٢).



الشكل (٢) حدوث قصر كهربائي

٣ المخطط الرمزي للدارة الكهربائية البسيطة

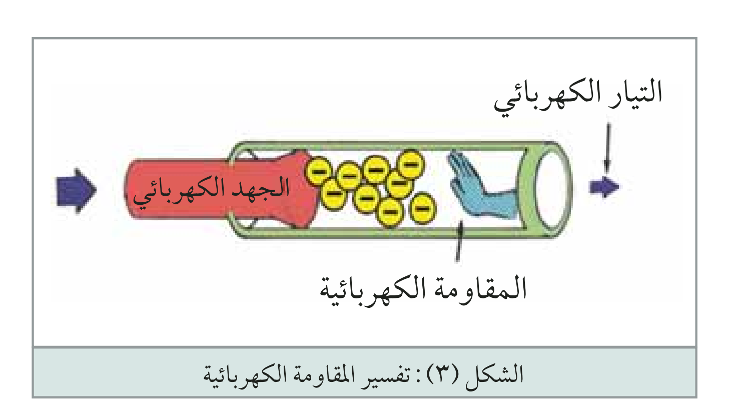
يبين الشكل (١) المخطط التصويري والمخطط الرمزي لدارة كهربائية بسيطة تحتوي على مصباح وبطارية جافة وجهاز أميتر لقياس شدة التيار المار عبر فتيلة المصباح. وبالرغم من إمكانية رسم مثل هذه الدارات البسيطة بالطريقة المبينة في يمين الشكل (١)، غير أنه من الصعب جداً استخدام هذه الطريقة في رسم الدارات المعقدة. ولهذا السبب يتم استعمال مخططات رمزية كالمبينة إلى يسار الشكل (١) تستخدم رموزاً تمثل مكونات الدارات الكهربائية. ولكن قبل قراءة مثل هذه المخططات يجب التعرف إلى الرموز الكهربائية التي تحتويها. فمثلاً، يرمز للبطارية بخط طويل يشير إلى القطب الموجب وبآخر قصير يشير إلى القطب السالب. ويبين الجدول التالي رموز بعض العناصر الكهربائية.

العنصر الكهربائي	الرمز الكهربائي
موصل	——
تقاطع موصلين على مخطط كهربائي(دون حصول توصيل كهربائي بينهما).	
ملتقى موصلات أو عقدة بين موصلين.	
مصباح فتيلي	
مصباح تأشير	
خلية أولية أو ثانوية	
بطارية من الخلايا الأولية والثانوية	⊣ ⊢----⊣ ⊢

مصدر تيار مستمر(DC)	+ −
مصدر تيار متناوب(AC)	~
محرك كهربائي	M
سخان كهربائي	
مصهر	

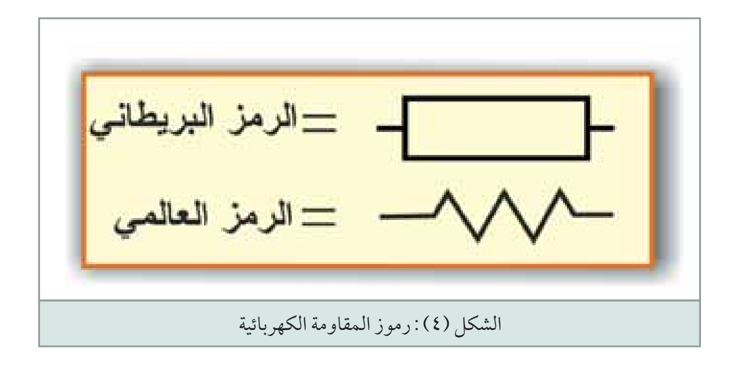
٤ المقاومة الكهربائية (Electrical Resistance):

إن الإلكترونات التي تشكل التيار الكهربائي تصطدم أثناء مسيرها عبر أي موصل بأجزاء مادة الموصل التي تبدي إعاقة أو مقاومة أمام مسير الإلكترونات في هذا الموصل. تعرف المقاومة الكهربائية بأنها مقدار اعاقة المادة لمرور التيار الكهربائي فيها كما في الشكل (٣). ومن الجدير ذكره إن كل المواد المعروفة تتمتع – إلى حد ما – بهذه الخاصية.



الشكل (٣): تفسير المقاومة الكهربائية

للمواد العازلة مثل الزجاج والمطاط، مقدار كبير من المعارضة لحركة الإلكترونات عبرها، وبالتالي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي فيها. لذا يقال بأن لهذه المواد مقاومة كبير جداً وبأنها مواد عازلة.



الشكل (٤): رموز المقاومة الكهربائية

أما المواد الموصلة مثل النحاس والألمنيوم، فإنها تبدي معارضة قليلة جداً لحركة الإلكترونات عبرها، لذا يقال بأن لهذه المواد مقاومة منخفضة جداً وبأنها مواد موصلة. ومما ذكر أعلاه، يمكن الاستنتاج بأن المقاومة تحد من قيمة التيار المار في الدارة الكهربائية. ومع إن كل المواد الموصلة لها مقاومة تختلف من مادة إلى أخرى، إلا إننا نحتاج في الكثير من الأحيان وضع مقدار محدد من المقاومة في الدارة الكهربائية. فعلى سبيل المثال، عناصر التسخين الموجودة في الأفران الكهربائية وأجهزة التدفئة ما هي إلا عبارة عن مقاومات. ويشار للمقاومة الكهربائية بالحرف (R)، ويرمز لها في المخططات الكهربائية بالرمزين الموضحين في الشكل (٤).

٥ الأوم

وحدة قياس المقاومة ، ويرمز له بالحرف اليوناني أوميغا (Ω) ويعرف الأوم بدلالة الجهد والتيار . إن (1) أوم هو مقدار المقاومة التي تسمح بمرور تيار شدته (1) أمبير عند جهد (1)فولت ،

ومن مضاعفات الأوم " الكيلو أوم" ويرمز له بالحرفين(KΩ) ، ويساوي (10^3) أوم . والميجا أوم ويرمز له بالحرفين (MΩ)، وتساوي (10^6) أوم . والجدول التالي يوضح قيم مقاومة بعض . الأجهزة الحرارية المستخدمة في الحياة العملية

سلك توصيل	أقل من 1 أوم
قطعة مطاط	أكثر من20 مليون أوم
مكوى كهربائي	0 - 50 أوم
عناصر التسخين في الأفران	15 - 50 أوم
مصابيح الإضاءة	0-600 أوم عندما تكون ساخنة 0 - 60 أوم عندما تكون باردة (ترتفع قيمة المقاومة بإرتفاع حرارتها) .

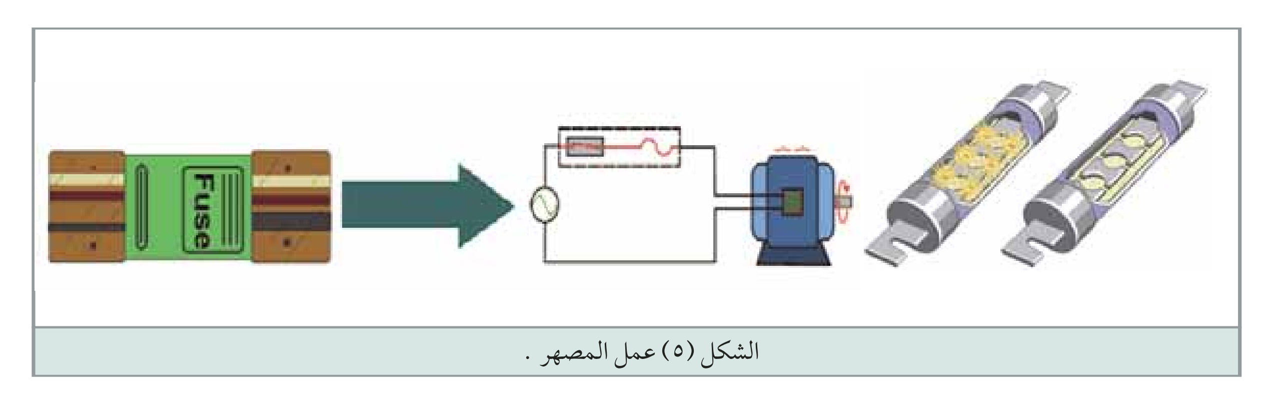
٦ الموصلية (Conductance):

في بعض الأحيان يكون من المناسب أن نحسب مدى موصلية المادة للتيار الكهربائي أكثر من حساب مدى معارضتها لمرور التيار الكهربائي . لهذا تستخدم خاصية تسمى الموصلية.(Conductance)

إن الموصلية هي عكس المقاومة وتعبر عن قدرة المادة على تمرير التيار الكهربائي، ويرمز لها بالحرف(G)وتقاس بوحدة موا (mho) وهي معكوس كلمة أوم(ohm)، وفي الآونة الأخيرة تم اعتماد وحدة السيمينز (Siemens) لقياس الموصلية ويرمز لها بالحرف(S) . ورياضياً فإن الموصلية هي مقلوب المقاومة كما في العلاقة : $G=\frac{1}{R}$

٧ المصهرات (FUSES):

المصهر (الفيوز) هو عنصر حماية للمعدات والأجهزة الكهربائية وعناصر الدارة الكهربائية من التيارات الزائدة عن اللازم أو من تيار قصر الدارة الذي يؤدي إلى تلف هذه الأجهزة . ويتلخص عمل المصهر في أن عنصره ينصهر ويفتح الدارة عند زيادة التيار عن حد معين، كما يوضح الشكل(٥) .



الشكل (٥) عمل المصهر .

أسئلة الدرس

أجب عن الأسئلة التالية :

١ تتكون الدارة الكهربائية من العناصر الأساسية التالية : .... و........و.........و.........

٢ تكون الدارة الكهربائية مغلقة عندنا تكون .... وتكون الدارة الكهربائية مفتوحة عندما يكون ....

٣ تحدث دارة القصر (الشورت) عندما ....

٤ المقاومة كهربائية هي ....

٥ يرمز للمقاومة الكهربائية بالحرف (   )، ووحدة قياسها.... .. ويرمز لها بالحرف اليوناني(   ).

٦ تعمل المقاومة في الدارة الكهربائية على الحد من.......... . .

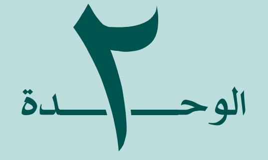
٧ عناصر التسخين في الأجهزة الكهربائية الحرارية عبارة عن ....

٨ القيمة التقريبية لمقاومة العناصر التالية هي :

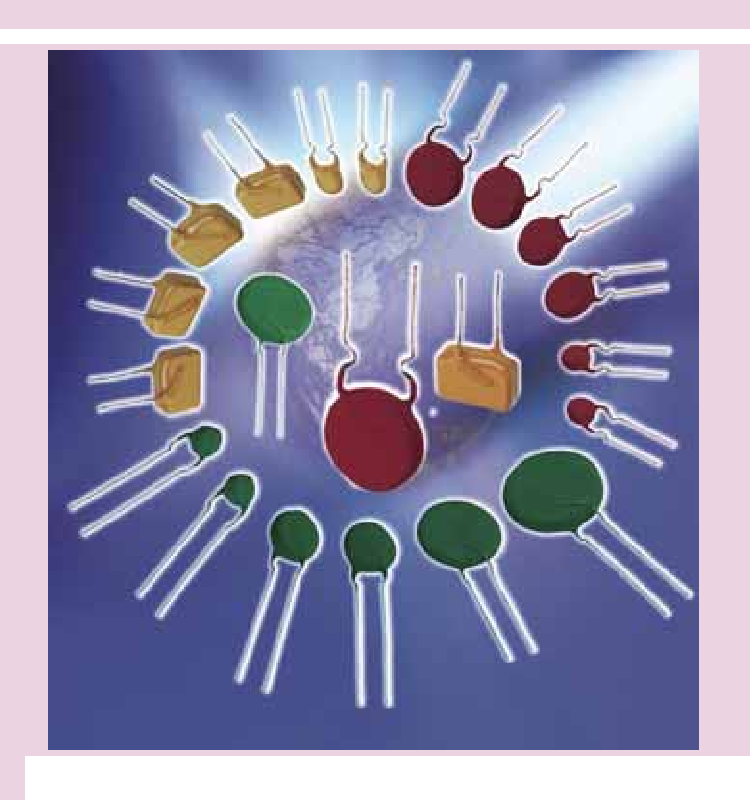
أ- سلك توصيل .... أوم .

ب-مادة عازلة .... أوم .

جـ- عنصر التسخين في الفرن .... أوم .



دارات التيار المستمر



الـدرس ١

المقاومات الكهربائية

درست في درس سابق بأن المقاومة الكهربائية هي خاصية المادة التي تعيق مرور التيار الكهربائي فيها عند وصلها بمصدر كهربائي، وتقاس بوحدة الأوم. كما درست بأن الأحمال الكهربائية هي عبارة عن مقاومة. وتعلمت من قانون أوم بأن مقاومة الحمل هي التي تحدد قيمة التيار المار به نتيجة وصله بمصدر كهربائي. وفي هذا الدرس، سوف تتعرف إلى العوامل التي تحدد مقاومة موصل ما، وإلى أنواع المقاومات، ونظام ألوانها، وطرق توصيلها.

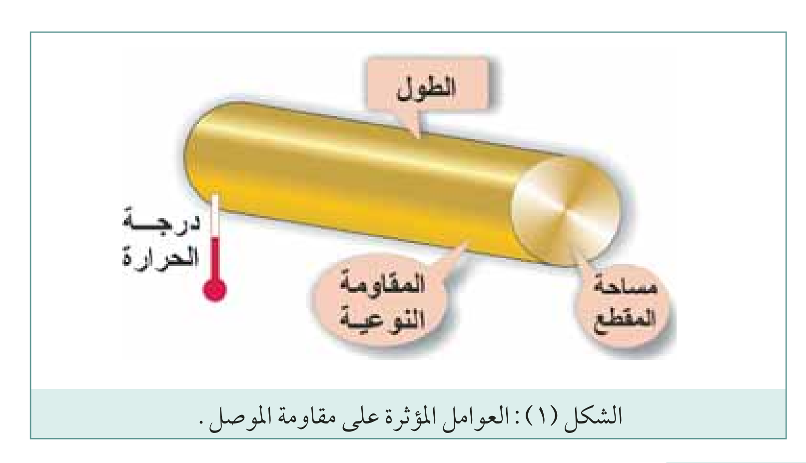
أولاً مقاومة الموصلات

١ مقاومة الموصل

تعتمد مقاومة الموصل كما هو مبين في الشكل (١) على أربعة عوامل، هي:

أ طول الموصل

وتزداد مقاومة الموصل بازدياد طوله، أي أن مقاومة الموصل تتناسب طردياً مع طوله.



الشكل (١): العوامل المؤثرة على مقاومة الموصل.

ب مساحة مقطع الموصل

تتناسب مقاومة الموصل تناسباً عكسياً مع مساحة مقطع الموصل، أي أنه كلما زادت مساحة مقطع الموصل قلت مقاومته. تماثل أسلاك الكهرباء مواسير الماء من حيث تدفق التيار، فالماسورة التي مساحة مقطعها كبير تكون مقاومتها لتدفق تيار الماء منخفضة، أما الماسورة التي مساحة مقطعها صغير تكون مقاومتها لتدفق تيار الماء مرتفعة.

ج نوع مادة الموصل

يمكن مقارنة مقاومة المواد المختلفة بالرجوع إلى ما يعرف بالمقاومة النوعية للمادة، وهي مقاومة عينة من المادة على هيئة موصل طوله (1)متر ومساحة مقطعه (1)مم^2 عند درجة حرارة (20) سلسيوس، ووحدة قياسها (أوم . مم^2/ متر)، ويرمز لها بالحرف رو (ρ).

المـــادة	المقاومة النوعية – أوم . مم٢/ متر
الفضة	0.0149
النحاس	0.0178
الذهب	0.021
الألمنيوم	0.0241
الحديد	0.14
سبيكة النيكروم (نيكل، كروم، حديد)	1.9

الجدول (١)

يمكن حساب مقاومة الموصل (بالأوم)، باستخدام العلاقة الآتية:

$$\text{مقاومة الموصل (بالأوم)} = \frac{\text{طول الموصل}}{\text{مساحة مقطع الموصل}} \times \text{المقاومة النوعية لمادة الموصل}$$

$$R = \frac{L}{A} \times \rho$$

حيث أن:

R =	مقاومة الموصل (بالأوم).
L =	طول الموصل(بالمتر).
A =	مساحة مقطع الموصل(ملم٢).
ρ =	المقاومة النوعية لمادة الموصل (أوم. ملم٢/ متر).

مـــثـــال ١

احسب مقاومة سلك من النحاس طوله (100) متر ومساحة مقطعه (1.5) مم2، علماً بأن المقاومة النوعية للنحاس (0.0178) أوم. مم^2 / متر.

الحـــــل

مقاومة الموصل = (100÷ 1 . 5) × 0 . 8710 = 1,81 أوم.

د درجة الحرارة

تتغير قيمة مقاومة المادة بتغير درجة الحرارة، ويعبر عن هذا التغير بالمعامل الحراري لمقاومة المادة الذي يعرف بأنه الزيادة أو النقصان في قيمة مقاومة عينة من تلك المادة مقاومتها (1)أوم نتيجة تغير درجة حرارتها (1) درجة سلسيوس. يرمز للمعامل الحراري بالحرف اليوناني(α)، ويتم التعبير عن قيمته بوحدة أوم/ أوم/ درجة مئوية.

يكون المعامل الحراري للمقاومة موجباً (Positive Temperature coefficient) للمواد التي تزداد قيمة مقاومتها بازدياد درجة حرارتها، مثل المعادن النقية التي يؤدي ازدياد درجة حرارتها إلى زيادة حركة الإلكترونات العشوائية مما يصعب عملية دفعها بشكل منتظم في اتجاه محدد لتشكيل التيار الكهربائي.

ويكون المعامل الحراري للمقاومة سالباً (Negative Temperature coefficient) للمواد التي تقل قيمة مقاومتها بازدياد درجة حرارتها، مثل أشباه الموصلات والعوازل والمحاليل الإلكتروليتية التي تقل مقاومتها نتيجة تولد المزيد من حاملات الشحنة الكهربائية بفعل الحرارة. ويبين الجدول التالي قيمة المعامل الحراري لبعض المواد المستخدمة في مجال الكهرباء.

المادة	المعامل الحراري
النحاس	+0.0038
الألمنيوم	+ 0.004
الفولاذ	+ 0.0045
الجرافيت	- 0.0004
التنجستن	+ 0.0041
الكونستانتان (سبيكة)	+0.000005

الجدول (٢)

ويمكن حساب قيمة المقاومة الساخنة (R_{HOT})باستخدام العلاقة التالية:

$$R_{HOT} = R_{20} \{1 + \alpha (T_{HOT} - 20)\}$$

حيث أن:

R_{20} قيمة المقاومة عند درجة 20 مئوية.

(α) المعامل الحراري للمادة.

T_{HOT} درجة الحرارة النهائية للمقاومة.

مـــثـــال ٢

احسب المقاومة الكهربائية لفتيل مصباح كهربائي مصنوع من التنجستن عند وصول درجة حرارتها إلى 2020 مئوية أثناء تشغيله. إذا علمت أن مقاومة الفتيل عند درجة حرارة الغرفة 20 مئوية تساوي 50 أوم وان المعامل الحراري لتنجستن يساوي 0.005 لكل درجة مئوية.

الحـــــــل

$$R_{HOT} = R_{20} \{1 + \alpha (T_{HOT} - 20)\}$$

$$R_{2020} = 50 \{1 + 0.005 (2020 - 20)\} = 60\Omega$$

٢ الأسلاك الكهربائية ومقاساتها المعيارية

تستخدم الأسلاك الكهربائية في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، كما وتدخل في صناعة الأجهزة الكهربائية مثل المحولات والمحركات الكهربائية وغيرها. ولهذه الأسلاك مقاومة تعتمد في قيمتها على طول السلك ومساحة مقطعه ونوع مادته. وغالباً تكون هذه المقاومة غير مرغوب فيها لأنها تسبب:

أ هبوط الجهد على امتداد السلك الناقل

ويكون الجهد في نهاية الخط عند الحمل أقل منه في بداية الخط عند المصدر. وتعتمد قيمة هبوط الجهد على مقاومة السلك وقيمة التيار المار عبره. ومن المتعارف عليه أنه لا يجوز أن يتجاوز هبوط الجهد، في تركيبات الإضاءة، ما نسبته (1.5-2.5%) من جهد الشبكة، وفي أجهزة التدفئة (3%)، وفي المحركات (5%).

ب انخفاض في الطاقة الكهربائية المنقولة

حيث تعمل مقاومة الأسلاك على تحويل جزء من هذه الطاقة إلى طاقة حرارية تؤدي إلى تسخين الأسلاك. ويبين الجدول (٣) بعض المقاسات المعيارية للأسلاك النحاسية وقيمة التيار الذي تمرره هذه الأسلاك بأمان.

مساحة المقطع (مم2)	1	1.5	2	2.5	4	6
التيار المقرر (أمبير)	11	13	16	18	24	36

الجدول (٣) المقاسات المعيارية للأسلاك النحاسية وقيمة التيار الذي تتحملة

إذا تجاوزت قيمة التيار المار عبر سلك القيمة المسموح بمرورها، ترتفع درجة حرارة السلك، وقد تؤدي إلى انصهار العازل الذي يغلفه، وبالتالي إلى حدوث تماس كهربائي ونشوب حرائق. وبشكل عام، يستخدم في التمديدات المنزلية أسلاك (1.5)مم^2 لتمديدات الإضاءة، وأسلاك(2.5)مم^2 لتمديدات القدرة.

ثانياً أنواع المقاومات

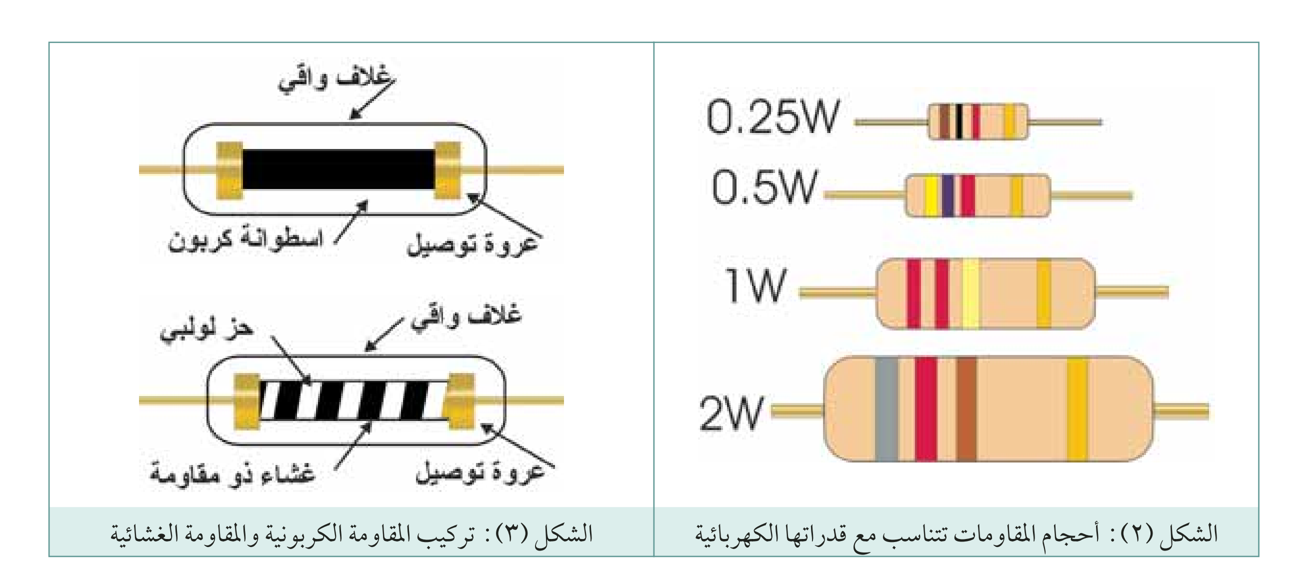
لتحقيق عمل الدارات الكهربائية والإلكترونية يلزم استخدام مقاومات كهربائية بقيم وخصائص محددة تتناسب وعمل هذه الدارات، لذا تصنع المقاومات بأشكال مختلفة لها قيم أومية معروفة وتتحمل تيارات كهربائية معلومة. وتقسم المقاومات إلى نوعين رئيسين هما: المقاومات ثابتة القيمة، ومتغيرة القيمة.

١ المقاومات ثابتة القيمة Fixed Resistors:

هي المقاومات التي لها قيمة ثابتة لا تتغير تكتب على جسم المقاومة بشكل مباشر (أرقام) أو بشكل غير مباشر (ألوان). وتقسم هذه المقاومات طبقاً لمادة صنعها إلى مقاومات كربونية وسلكية وغشائية.

أ المقاومات الكربونية Carbon resistors:

تتواجد المقاومات الكربونية بأحجام مختلفة بحيث تتناسب مع قدراتها الكهربائية كما موضح في الشكل (٢).
وتصنع هذه المقاومات من مزيج من الكربون المسحوق ومادة غير موصلة مثل مسحوق السيراميك (الفخار)، وتصب المادة بالشكل المطلوب (عادة يكون أسطوانياً) ثم تجمد بالحرارة، ويرش طرفا المقاومة بمعدن حتى يمكن توصيلها بالأسلاك الخارجية، لاحظ الشكل (٣).



الشكل (٢): أحجام المقاومات تتناسب مع قدراتها الكهربائية

الشكل (٣): تركيب المقاومة الكربونية والمقاومة الغشائية

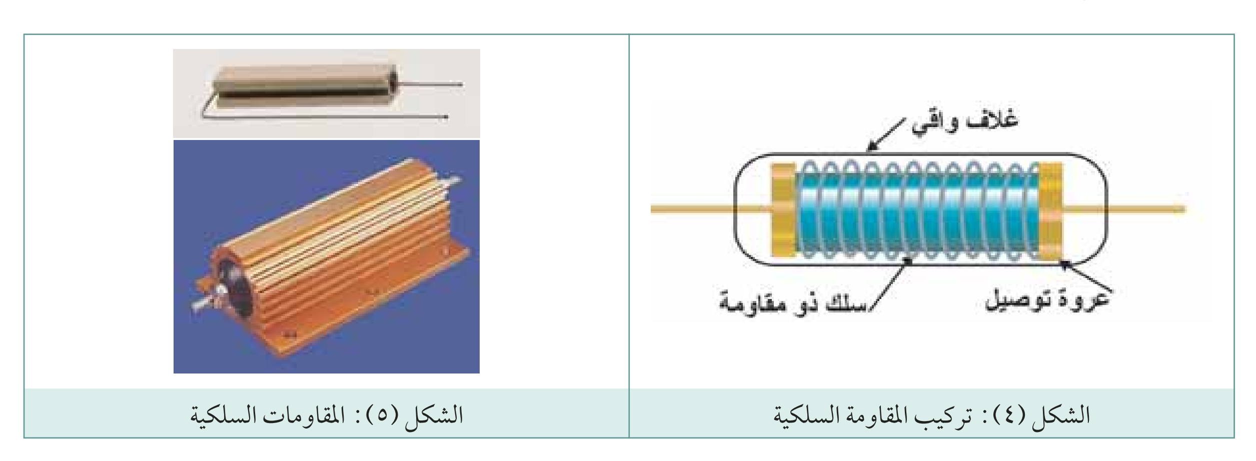
ب المقاومات الغشائية Film resistors:

يتطلب تصميم المقاومات الغشائية نثر غشاء متجانس من مادة ذات مقاومة حول سطح دليل تشكيل أسطواني خزفي، ويتم الحصول على القيمة المطلوبة للمقاومة بقطع حز لولبي في هذا الغشاء وبذلك يتغير طول المسار بين طرفي المقاومة وبالتالي قيمتها كما هو موضح في الشكل (٣). وتتواجد هذه المقاومات بثلاثة أنواع، هي: الغشاء الكربوني، وغشاء الأكسيد المعدني (أكسيد القصدير)، والغشاء المعدني (النيكل والكروميوم). وتشبه المقاومات الغشائية من حيث الشكل الخارجي المقاومات الكربونية ولكنها أكثر دقة وبالتالي أعلى تكلفة منها.

ج المقاومات السلكية Wirewound resistors:

تصنع من عدة لفات من سلك على دليل تشكيل معزول كما موضح في الشكل (٤). وتصنع مواد السلك من سبائك النيكل والكروم التي تستخدم بكثرة بسبب مقاومتها النوعية المرتفعة، ومعامل مقاومتها الحراري المنخفض القيمة.

ولوقاية مكونات المقاومة من تأثيرات الوسط المحيط، تغطى بطبقة واقية من الطلاء الزجاجي أو بخلطة من الرمل والإسمنت. وبعضها يغلف بمبدد حراري من الألمنيوم لتحسين قدرتها على تبديد الحرارة. لاحظ الشكل (٥)، في هذا النوع من المقاومات تكتب قيمة المقاومة بالأوم وقدرتها بالواط مباشرة على جسم المقاومة الحرارية. ويتبع نظام الترميز المحدد في المواصفة القياسية البريطانية BS1852، وسيتم مناقشته لاحقاً.

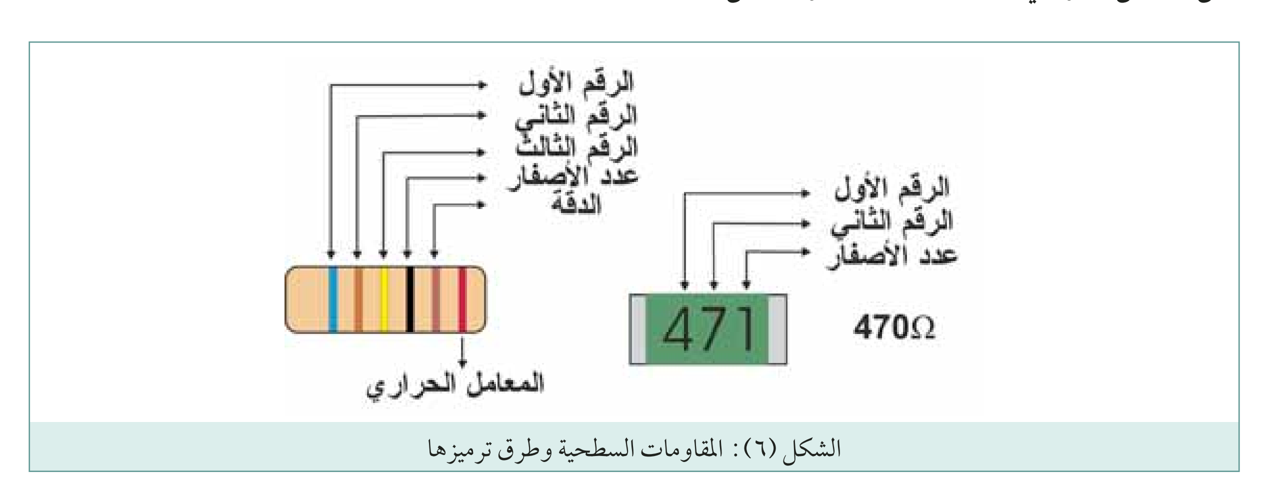


الشكل (٤): تركيب المقاومة السلكية

الشكل (٥): المقاومات السلكية

د المقاومات السطحية Surface Mount Resistors-SM Resistors:

تمتاز بصغر حجمها مما يجعلها ملائمة للوحات المطبوعة عالية الكثافة. وتتوفر بشكلين هما المسطح والأسطواني. المقاومة المسطحة يستخدم في ترميزها نظام ترميز مكون من ثلاث خانات، الخانتين الأولى والثانية تمثلان قيمة المقاومة أما الخانة الثالثة والأخيرة فتمثل المضاعف(عدد الأصفار) كما يظهر الشكل(٦). المقاومة الأسطوانية يستخدم في ترميزها نظام الترميز اللوني الخماسي(سنشرحه لاحقاً) بالأضافة الى حلقة لونية سادسة تمثل المعامل الحراري للمقاومة كما يظهر الشكل(٦).



الشكل (٦): المقاومات السطحية وطرق ترميزها

هـ المقاومات الشبكية Network Resistors:

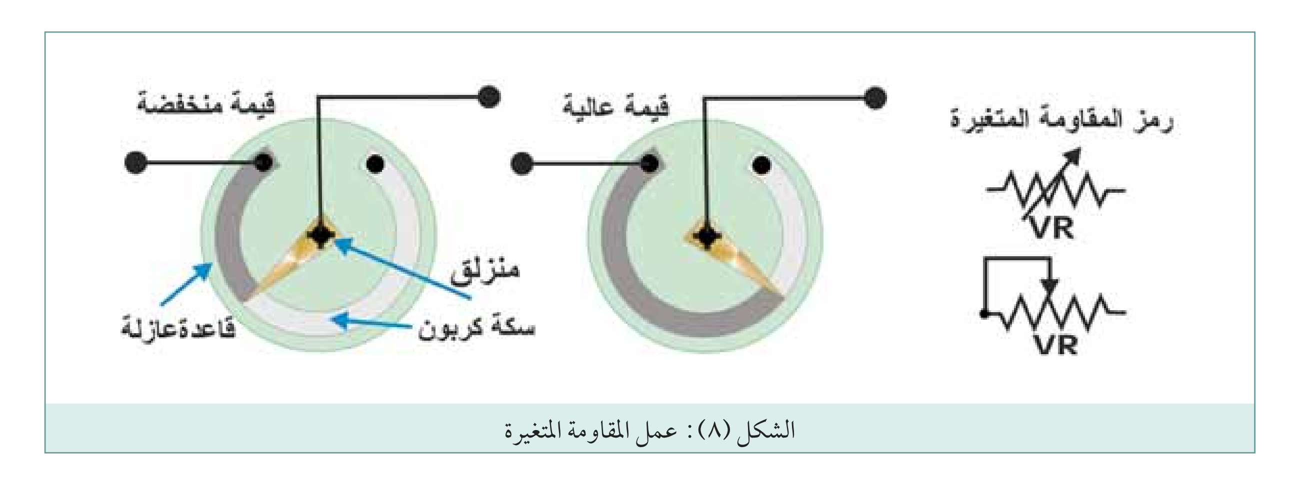
وهي عبارة عن مجموعة من المقاومات المتشابهة يتم تغليفها بغلاف خارجي يشبه اغلفة الدارات المتكاملة، كما هو مبين في الشكل(٧). تستخدم المقاومات الشبكية في الدارات الإلكترونية التي تحوي عدد كبير من المقاومات المتشابهة.



الشكل (٧): المقاومات الشبكية

٢ المقاومات متغيرة القيمة Variable Resistors:

تعتبر مفاتيح التحكم بالصوت في أجهزة الراديو والتلفاز مثال للمقاومات المتغيرة، ويمكن تغيير قيمها بسهولة بتدويرمفاتيحها. وعندما نقول إن مقاومة متغيرة قيمتها (1000) أوم، فهذا يعني أن بإمكاننا الحصول منها على قيم تتراوح بين الصفر و (1000) أوم.



الشكل (٨): عمل المقاومة المتغيرة

للمقاومة المتغيرة ثلاثة أطراف، طرفان يمثلان نهايتي المقاومة تحصل بوساطتهما على قيمة المقاومة الكلية. والطرف الثالث يتصل بجزء منزلق يتحرك فوق عنصر مقاوم تحصل بوساطته مع إحدى النهايتين على قيم مختلفة من المقاومة الكلية، كما موضح في الشكل (٨).

يصنع العنصر المقاوم على شكل سكة(مسار) من الكربون دائرية أو خطية، أو يصنع من سلك ملفوف على قلب عازل. الأنواع الكربونية تلائم القدرات المتدنية (أقل من 1 واط)وهي قليلة الكلفة وتتوفر بقيم تتراوح ما بين 1كيلو أوم و1 ميجا أوم. أما الأنواع الملفوفة الأسلاك فهي تلائم القدرات المتوسطة (3 واط فأكثر) وتتوفر بقيم تتراوح ما بين 10 أوم و 100 كيلو أوم.

تتوفر المقاومات المتغيرة بأحجام صغيرة تستخدم لعمل تعديلات عرضية مثل التدريج أو الضبط. وهي متوفرة بثلاثة أشكال: النوع المفتوح والنوع المغلق ونوع الضبط الدقيق الذي يستخدم عند الحاجة إلى ضبط دقيق جداً حيث سينتج تدوير مفتاح المقاومة عدة دورات تغيراً في قيمةالمقاومة. لاحظ الشكل (٩).

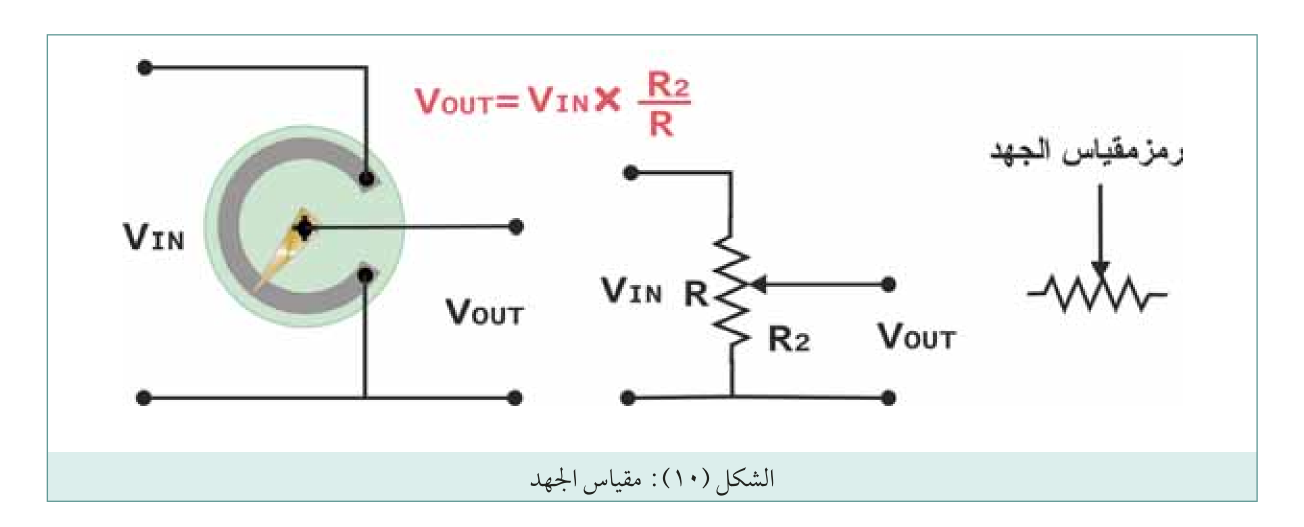


الشكل (٩): المقاومة المتغيرة

يطلق على المقاومة المتغيرة أيضا اسم مقياس الجهد (Potentiometer). مقياس الجهد هو مقسم حيث تتحدد قيمة جهد الخرج(V_{OUT}) بكل من جهد المدخل(V_{IN}) وكذلك حركة المنزلق على مسار الكربون، لاحظ الشكل (١٠). وتتحدد قيمة جهد المخرج في حالة اللاحمل بما يلي:

$$V_{OUT} = V_{IN} \times \frac{R_2}{R}$$

تتوفر مقاييس(مجزئات)الجهد الكربونية بمسارات خطية(Lin) أو نصف لوغارتمية(Log)،وتستعمل الأخيرة كأدوات للتحكم بالجهارة في الأجهزة السمعية.



الشكل (١٠): مقياس الجهد

٣ المقاومات الخاصة

تصنع من مواد خاصة وبطرق صنع خاصة لتلائم تطبيقات عملية معينة في الدارات الإلكترونية، ويختلف عملها عن عمل المقاومات العادية. ومن هذه المقاومات:



الشكل (١١): الثيرمستور

أ مقاومة الثيرمستور:

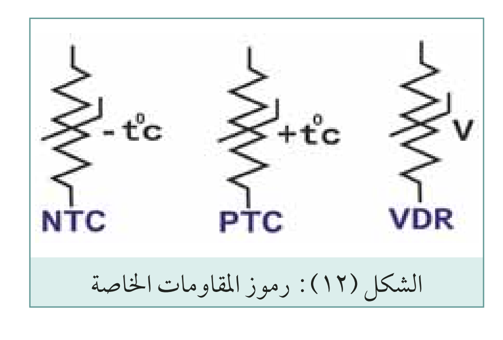
وهي المقاومة التي تتغير مقاومتها بشكل ملموس بارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها. لاحظ الشكل (١١)، وتستخدم في دارات الحماية من ارتفاع درجة الحرارة، كما يمكن استخدامها كمجس لدرجة الحرارة في دارات التحكم في أجهزة التدفئة أو التبريد وفي أجهزة قياس درجة الحرارة. ويوجد منها نوعان:

١. مقاومة ذات معامل حراري سالب (NTC) التي تقل قيمتها بارتفاع درجة الحرارة.
٢. مقاومة ذات معامل حراري موجب (PTC) التي تزداد قيمتها بارتفاع درجة الحرارة.

ويظهر الشكل (١٢) رموز هذه المقاومات.

ب مقاومة الفاريستور التابعة للجهد (VDR):

تقل قيمة هذه المقاومة مع ازدياد الجهد المؤثر على أطرافها. وتستخدم أساساً في مجال وقاية المعدات الكهربائية من الارتفاع المفاجئ في الجهد الكهربائي. وتوصل هذه المقاومة على التوازي مع الجهاز المراد وقايته، وعندما يحدث أي ارتفاع مفاجئ للجهد بين طرفي الجهاز، تقل مقاومة الفاريستور لحظياً وتمتص جزءً من الجهد المفاجئ فتنكسر حدته.



الشكل (١٢): رموز المقاومات الخاصة

جـ مقاومة سلكية أو كربونية تعمل كمصهر:

في حالة المقاومة السلكية هناك طرفان ملحومان معاً. لأحدهما خاصية زنبركية، فعندما يتجاوز التيار حده المقرر تسخن هذه المقاومة إلى حد يصهر اللحام على الوصلة فتنفصل ويقطع مرور التيار. وعند إصلاح العطل يمكن إعادة لحام الوصلة. أما في حالة المقاومة الكربونية، فتستخدم مقاومة صغيرة قيمتها أقل من (2) أوم وقدرتها صغيرة أقل من ربع واط. وعندما يتجاوز التيار حده المقرر، تحترق هذه المقاومة، ويمكن استبدالها بعد إصلاح العطل.

د المقاومة المعتمدة على الضوء Light Dependent Resistor-LDR:

المقاومة المعتمدة على الضوء واحدة من أقدم العناصر الكهروضوئية، وهذه المقاومة تتناقص قيمتها بازدياد شدة الضوء الساقط عليها . و تكون قيمة المقاومة المعتمدة على الضوء في الظلام عالية جداً قد تصل إلى أكثر من 2 ميجا أوم ولكن عندما تتعرض للضوء تنخفض مقاومتها إلى بضع مئات من الأوم .

تصنع المقاومات المعتمدة على الضوء من المواد شبه الموصلة الحساسة للضوء مثل كبريتيد الكادميوم (ورمز CdS) وسيلينيد الكادميوم (ورمز CdSe). يبين الشكل (١٣) تركيب المقاومة المعتمدة على الضوء، تشكل طبقة رقيقة من مادة حساسة للضوء على طبقة عازلة من الزجاج أو السيراميك وتزود بطرفي توصيل ثم توضع في غلاف معدني أو بلاستيكي له نافذة زجاجية تسمح بسقوط الضوء على المادة الحساسة للضوء .



الشكل (١٣أ): مقطع لمقاومة ضوئية | الشكل (١٣ب): مقاومة ضوئية | الشكل(١٣جـ): رمز المقاومة الضوئية

للمقاومة المعتمدة على الضوء تطبيقات عديدة في الإلكترونيات فعلى سبيل المثال، تستعمل غالباً في أجهزة الإنذار، والتحكم بالأبواب الآلية، وكاشف اللهب في المراجل، حيث يتطلب الأمر الإحساس بوجود ضوء أو غيابه .

٤ المواصفات الفنية للمقاومات:

المواصفات الفنية للمقاومات التي يجب مراعاتها انتخاب او استبدال مقاومة تالفة في دارة كهربائية ما، هي :

١ **المقاومة** : يعبر عن القيمة المطلوبة بالآم والكيلو أوم أو الميجا أوم .

٢ **القدرة المقدرة**: هي القدرة القصوى التي تبددها المقاومة ، ونأتي بها من المعادلة التالية :

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 \times R$$

٣ **معامل درجة الحرارة**: هو التغير في المقاومة لكل تغير في درجة الحرارة بالوحدة المعتمدة (يعبر عنه عادة بالأجزاء بالمليون) .

٤ **الاستقرار** : هو التقلب في قيمة المقاومة الذي يحصل تحت ظروف معينة وعلى مدة معينة من الزمن (يعبر عنه كنسبة مئوية %) .

ثالثاً نظم ترميز المقاومات

١ نظم ألوان المقاومات

تكون المقاومات الكربونية والغشائية معلمة برموز لونية تشير إلى قيمتها وتفاوتها(دقتها). وهناك نظامين معتمدين في الترميز اللوني وهما: الترميز اللوني الرباعي والترميز اللوني الخماسي (انظر الشكل ١٤).

نظامي ألوان المقاومات

النظام الرباعي

5 6 000 %5±

56000=56KΩ ±5%

الرقم الأول	الرقم الثاني	الرقم الثالث	عدد الأصفار	نسبة الخطأ
أسود 0	أسود 0	أسود 0	أسود 0	
بني 1	بني 1	بني 1	بني 1	بني %1±
أحمر 2	أحمر 2	أحمر 2	أحمر 2	أحمر %2±
برتقالي 3	برتقالي 3	برتقالي 3	برتقالي 3	
أصفر 4	أصفر 4	أصفر 4	أصفر 4	
أخضر 5	أخضر 5	أخضر 5	أخضر 5	
أزرق 6	أزرق 6	أزرق 6	أزرق 6	
بنفسجي 7	بنفسجي 7	بنفسجي 7		
رمادي 8	رمادي 8	رمادي 8	ذهبي %5±	ذهبي %5±
أبيض 9	أبيض 9	أبيض 9	فضي %10±	فضي %10±

47000=47KΩ ±5%

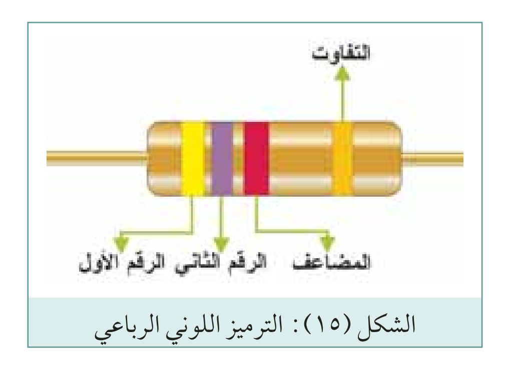
النظام الخماسي

4 70 00 %5±

الشكل (١٤)

أ الترميز اللوني الرباعي:

تحدد الحلقة الأولى من جهة اليسار الرقم الأول للمقاومة، و تحدد الحلقة الثانية الرقم الثاني للمقاومة، وتحدد الحلقة الثالثة المضاعف العشري (عدد الأصفار)، أما الحلقة الرابعة فتحدد نسبة التفاوت المسموح به في قيمة المقاومة النظرية. لاحظ الشكل (١٥).



الشكل (١٥): الترميز اللوني الرباعي

مـــثـــال ٣

ما قيمة المقاومة المبينة في الشكل (١٥)السابق، مراعياً حساب الحدين الأعلى والأدنى لهذه القيمة.

الحـــــــــل

بالنظر الى حلقات الألوان المبينة على جسم المقاومة، يتبين أن:

لون الحلقة الأولى أصفر، ويقابل العدد (4)

لون الحلقة الثانية بنفسجي، ويقابل العدد(7)

لون الحلقة الثالثة أحمر، ويقابل المضاعف (100)

لون الحلقة الرابعة ذهبي، ويقابل نسبة التفاوت 5% ±

توضع الأرقام بجانب بعضها ويتبين أن:

قيمة المقاومة = 47×100 أوم = 4700 أوم = 4.7 كيلو أوم.

الحد الأعلى للقيمة:

$$4700 + 4700 \times \frac{5}{100} = 4700 + 235 = 4935\ \Omega$$

كيلو أوم. الحد الأدنى للقيمة:

$$4700 - 4700 \times \frac{5}{100} = 4700 - 235 = 465\ \Omega$$

ب الترميز اللوني الخماسي:

كما هو الحال في النظام الرباعي تحدد الحلقة الأولى من جهة اليسار الرقم الأول للمقاومة، وتحدد الحلقة الثانية الرقم الثاني للمقاومة، أما الحلقة الثالثة فتحدد الرقم الثالث للمقاومة، وتحدد الحلقة الرابعة المضاعف العشري (عدد الأصفار)، والحلقة الخامسة والأخيرة فتحدد نسبة التفاوت المسموح به في قيمة المقاومة النظرية. ويوضح المثال المبين في الشكل(١٤) طريقة استخدام هذا النظام لتحديد قيمة المقاومات وتفاوتها.

٢ نظام الرموز BS1852:

وفي هذا النظام يتم تحديد مكان الفاصلة العشرية وكذلك قيمة المضاعف العشري بواسطة الحروف الأبجدية التالية:

وتوضح الأمثلة التالية طريقة استعمال هذه القائمة:

R18 تعني 0.18 أوم.

560R تعني 560 أوم.

2K7تعني 2.7كيلوأوم حيث يستخدم الحرف(K)كمضاعف وفاصلة عشرية.

39K تعني 39كيلو أوم.

1M0تعني 1.0 ميجا أوم. حيث يستخدم الحرف(M)كمضاعف وفاصلة عشرية.

الحرف	التفاوت
F	1%±
G	2%±
J	5%±
K	10%±
M	20%±

الجدول (٤)

ومن ثم يتم إلحاق حرف إضافي للإشارة إلى التفاوت ، لاحظ الجدول (٤).

وتوضح الأمثلة التالية طريقة استعمال هذه القائمة :

R18J تعني 0.18 أوم والتفاوت ±5%

560RK تعني 560 أوم والتفاوت ±10%

٣ القيم المفضلة للمقاومات

تتوفر المقاومات بعدة تسلسلات من القيم العشرية (أي رقم عشرة ومضاعفاته) ، ويكون عدد القيم الموجودة في كل سلسلة محكوماً بالتفاوت المحدد. وليشمل المدى لقيم المقاومة في المقاومات التي يبلغ تفاوتها10% مثلاً، يلزمنا سلسلة القيم العشرية السداسية الأساسية التالية (وتعرف أيضاً بالسلسلة E6) :

1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

وفي التطبيق العملي تتوفر المضاعفات العشرية لهذه القيم . فعلى سبيل المثال يحتوي المدى المعتاد لمضاعفات المقاومة ذات القيمة Ω 2.2 القيم التالية :

2.2,22,220.2.2KΩ,22KΩ,220KΩ,2.2MΩ

القيم الأساسية للسلسلة E12 للمقاومات التي يبلغ تفاوتها %10 هي :

1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2

القيم الأساسية للسلسلة E24 للمقاومات التي يبلغ تفاوتها %5 هي :

1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0

3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1

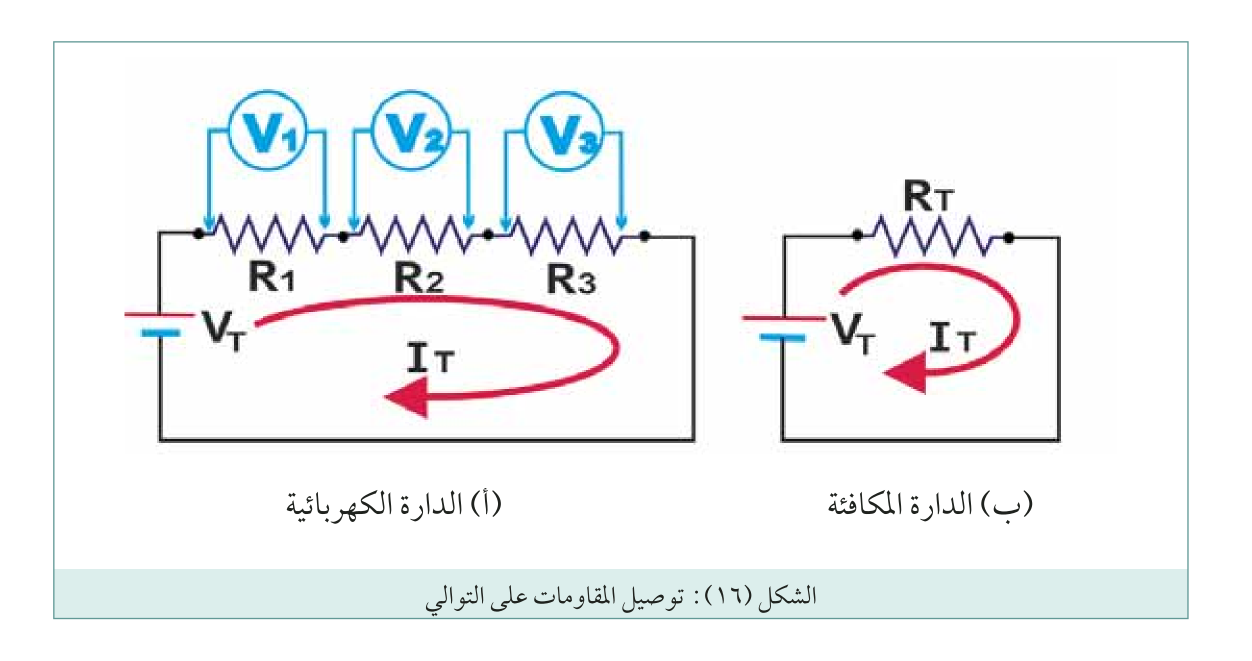
رابعاً توصيل المقاومات

يمكن توصيل المقاومات بطرق ثلاثة هي :

١ التوصيل على التوالي:

يبين الشكل (١٦) ثلاثة مقاومات متصلة ببعضها بحيث أن أحد طرفي المقاومة الأولى موصول بالطرف الأول من المقاومة الثانية، والطرف الثاني من المقاومة الثانية متصل مع الطرف الأول من المقاومة الثالثة. ويلاحظ من الشكل (١٦أ) أنه يوجد في دارات التوالي مسار واحد فقط للتيار، حيث يسري التيار نفسه في جميع المقاومات، وإذا احترقت إحدى المقاومات انقطع التيار عن جميع أجزاء الدارة.

يمكن تبسيط هذه الدارة وذلك بإستبدال المقاومات الثلاث بمقاومة واحدة فقط وهي المقاومة المكافئة (الكلية) كما هو موضح في الشكل (١٦ب)، ويرمز لها بالحرف(R_T)، حيث أن الحرف(T)يأتي كاختصار لكلمة (Total) أي (المجموع الكلي). ويقصد بالمقاومة المكافئة، المقاومة التي يمكن وضعها في الدارة بدلاً من مجموعة المقاومات دون أن تتغير شدة التيار.



الشكل (١٦): توصيل المقاومات على التوالي

في دارات التوالي يتوزع جهد المصدر (V_T) على المقاومات بتناسب طردي، كل حسب قيمتها كما في الشكل (١٦أ).

هبوط الجهد (فرق الجهد) على المقاومة الأولى: ($V_1 = I_T \times R_1$).

هبوط الجهد على المقاومة الثانية: ($V_2 = I_T \times R_2$).

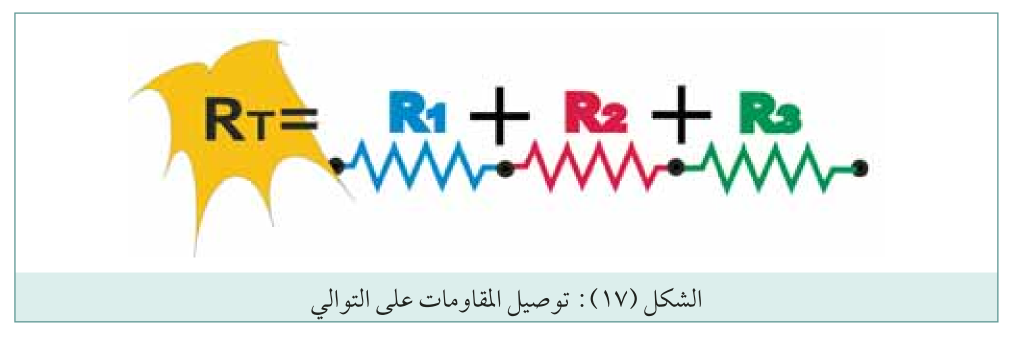
هبوط الجهد على المقاومة الثالثة: ($V_3 = I_T \times R_3$).

ويكون جهد المصدر (V_T)مساوياً للمجموع الجبري لفروق الجهد كما $V_T = V_1 + V_2 + V_3$ وبالتالي:

$$I_T R_T = I_T R_1 + I_T R_2 + I_T R_3$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

وهكذا يتبين أن قيمة المقاومة المكافئة لدارة التوالي تساوي المجموع الجبري للمقاومات الداخلة في تركيب هذه الدارة، لاحظ الشكل (١٧).



الشكل (١٧): توصيل المقاومات على التوالي

وتعتمد قيمة التيار الكهربائي في دارات التوالي على جهد المصدر(V_T)، والمقاومة المكافئة (R_T) للدارة ويحسب تيار الدارة (I_T)، بناء على قانون أوم على النحو التالي:

التيار = (جهد المصدر ÷ المقاومة المكافئة)

$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

مثال ٤

وصلت المقاومات (10)، و(20)، و (30)أوم على التوالي كما مبين في الشكل (١٧)، احسب المقاومة الكلية.

الحل

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$
$$= 10 + 20 + 30$$
$$= 60\ \Omega$$

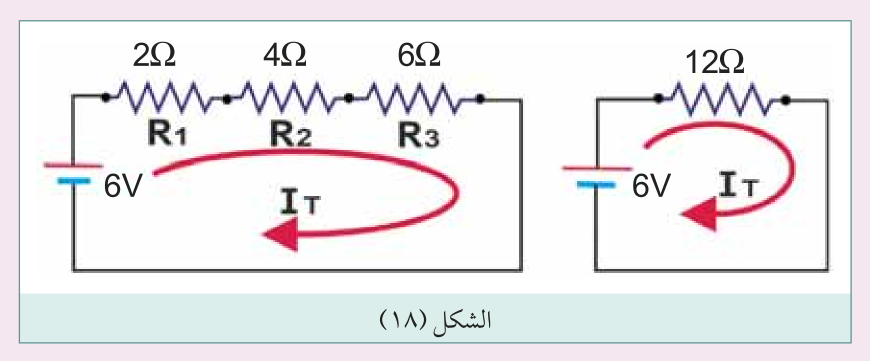
مثال ٥

وصلت ثلاث مقاومات الأولى قيمتها (2) أوم، والثانية قيمتها (4) أوم، والثالثة قيمتها (6) أوم على التوالي بين قطبي بطارية جهدها (6) فولت:

أ ارسم الدارة الكهربائية.
ب احسب المقاومة الكلية.
ج ارسم الدارة المكافئة.
د احسب التيار الكلي.

الحل

أ



الشكل (١٨)

ب المقاومة الكلية: 2 + 4 + 6 = 12 أوم.

ج **الدارة المكافئة**: تبسط الدارة الكهربائية باستبدال المقاومات بمقاومة واحدة فقط وهي المقاومة المكافئة (الكلية) كما موضح في الشكل (١٨/ أ) وتسمى هذه الدارة المبسطة.

د التيار الكلي (I_T) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الكلية = 6 ÷ 12 = 0.5 أمبير.

مثال ٦

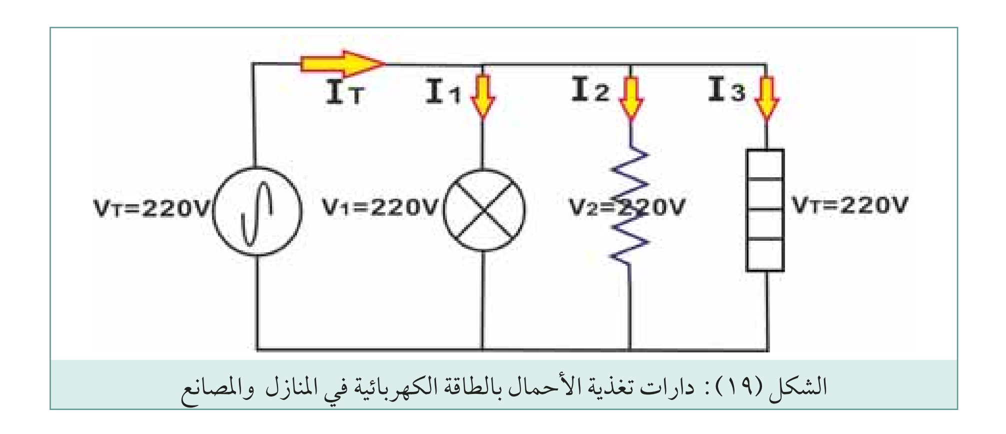
خمسة مصابيح إضاءة متشابهة قدرة كل منها (100) واط ، وجهد تشغيلها المقرر (220) فولت .
وصلت على التوالي بين طرفي مصدر (220)فولت ، احسب هبوط الجهد على كل مصباح .

الحل

بما أن المصابيح متشابهة وموصولة على التوالي ، فإن جهد المصدر سوف يتوزع عليها بالتساوي :
هبوط الجهد على كل مصباح = 220÷5 = 44 فولت
شدة إضاءة هذه المصابيح سوف تكون منخفضة جداً ، لأنها لم تحصل على جهد تشغيلها المقرر (220) فولت .

٢ التوصيل على التوازي:

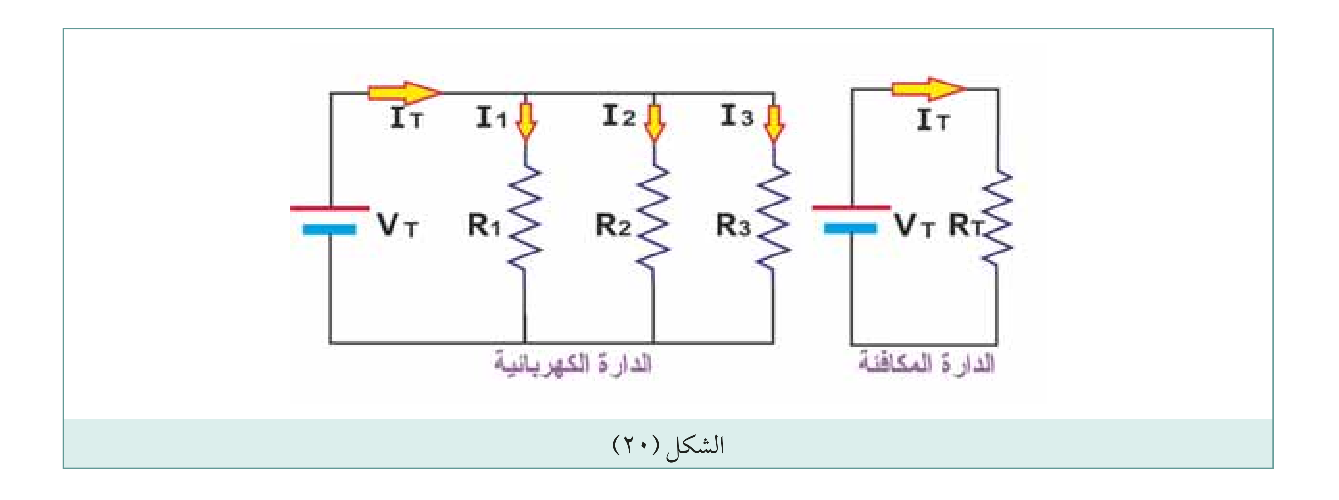
إن دارات تغذية الأحمال الكهربائية بالطاقة الكهربائية في المنازل والمصانع هي مثال لدارات التوازي كما موضح في الشكل (١٩)، حيث توصل الأحمال الكهربائية على التوازي بين طرفي المصدر الرئيسي للطاقة الكهربائية (220) فولت. ويوصل كل حمل كهربائي بالمصدر بوساطة خطين هما خط الفاز والخط المتعادل (النيوترول)، وبهذا يحصل كل حمل كهربائي على جهد المصدر الرئيس أي (220) فولت .



الشكل (١٩) : دارات تغذية الأحمال بالطاقة الكهربائية في المنازل والمصانع

يبين الشكل (٢٠) ثلاثة مقاومات موصولة على التوازي بين طرفي مصدر رئيسي للطاقة الكهربائية (V_T) وهكذا تحصل كل مقاومة على جهد المصدر فيكون :

جهد المصدر = جهد المقاومة الأولى = جهد المقاومة الثانية = جهد المقاومة الثالثة



الشكل (٢٠)

كما ويتوزع تيار المصدر في دارات التوازي على المقاومات المكونة للدارات بتناسب عكسي حسب قيمتها كما في الشكل(٢٠) . وباستخدام قانون أوم يكون :

- تيار المقاومة الأول (I_1) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الأولى

$$I_1 = \frac{V_T}{R_1}$$

- تيار المقاومة الثانية (I_2) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الثانية

$$I_2 = \frac{V_T}{R_2}$$

- تيار المقاومة الثالثة (I_3) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الثالثة

$$I_3 = \frac{V_T}{R_3}$$

- تيار المقاومة الرابعة (I_4) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الرابعة

$$I_4 = \frac{V_T}{R_4}$$

وتعتمد قيمة تيار المصدر (الكلي) في دارات التوازي على جهد المصدر (V_T) والمقاومة المكافئة (الكلية) للدارة. تيار المصدر (I_T) يساوي مجموع التيارات الفرعية :

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$\frac{V_T}{R_T} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

وبمعنى آخر، تتساوى قيمة مقلوب المقاومة المكافئة لدارة التوازي مع حاصل جمع معكوسات المقاومات الموصولة. وينتج عن ذلك أن تقل قيمة المقاومة المكافئة لدارة التوازي عن أصغر قيمة لأي من هذه المقاومات.

وهناك حالتين خاصتين:

أ عند توصيل مجموعة من المقاومات المتشابهة وعددها (N) على التوازي، ومقاومة كل واحدة (R)، فإن المقاومة المكافئة:

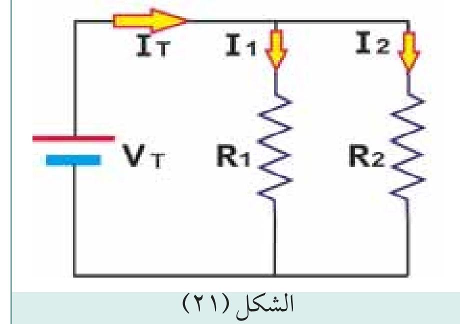
$$R_T = \frac{R}{N}$$

ويتوزع تيار المصدر عليها بالتساوي.

ب عند توصيل مقاومتين على التوازي، كما في الشكل (٢١) فإن:

المقاومة المكافئة = حاصل ضرب قيم المقاومتين ÷ حاصل جمع قيم المقاومتين، أي أن:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$



الشكل (٢١)

مثال ٧

وصلت المقاومتين (60) و(40) أوم على التوازي، احسب المقاومة الكهربائية؟

الحل

بما أن الدارة تحتوي على مقاومتين فقط، يمكن استخدام المعادلة:

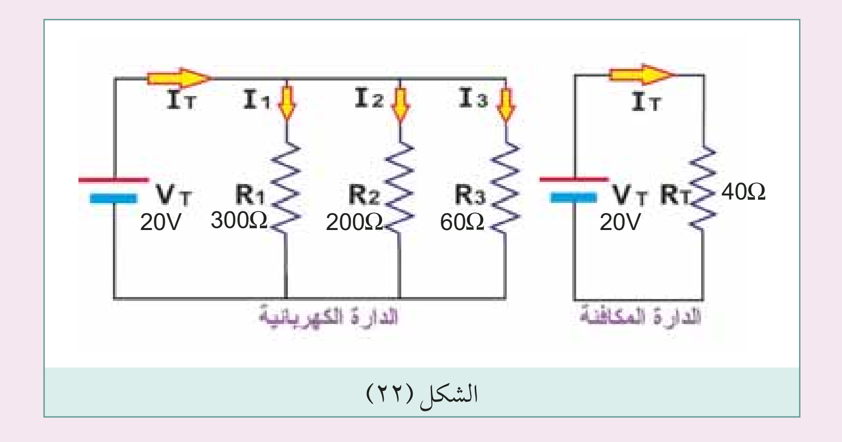
$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \times 40}{60 + 40} = 24\Omega$$

مثال ٨

وصلت المقاومات (R_1) = 300 أوم، (R_2) = 200 أوم، (R_3) = 60 أوم على التوازي كما في الشكل (٢٢)، احسب:

أ المقاومة الكلية.

ب التيار الكلي، والتيار عبر كل مقاومة، إذا وصلت المجموعة بين طرفي مصدر جهد (20) فولت.



الشكل (٢٢)

الحـــــــل

أ المقاومة الكلية = $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{300} + \frac{1}{200} + \frac{1}{60}$

تتطلب عملية جمع هذه الكسور توحيد مقاماتها، والمضاعف المشترك الأصغر في هذه الحالة يساوي (600)، فإذن:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{2}{600} + \frac{3}{600} + \frac{10}{600} = \frac{15}{600}$$

وبقلب شقي هذه المعادلة نحصل على:

$$R_T = \frac{600}{15} = 40\Omega$$

ب التيار الكلي:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{220}{40} = 5.5A$$

ج التيارات الفرعية:

$$I_1 = \frac{V_T}{R_1} = \frac{220}{300} = 0.73A$$

$$I_2 = \frac{V_T}{R_2} = \frac{220}{200} = 1.1A$$

$$I_3 = \frac{V_T}{R_3} = \frac{220}{60} = 3.67A$$

مـــثـــال ٩

أربع مقاومات متساوية مقدار كل منها (200) أوم موصولة على التوازي، احسب المقاومةالكلية.

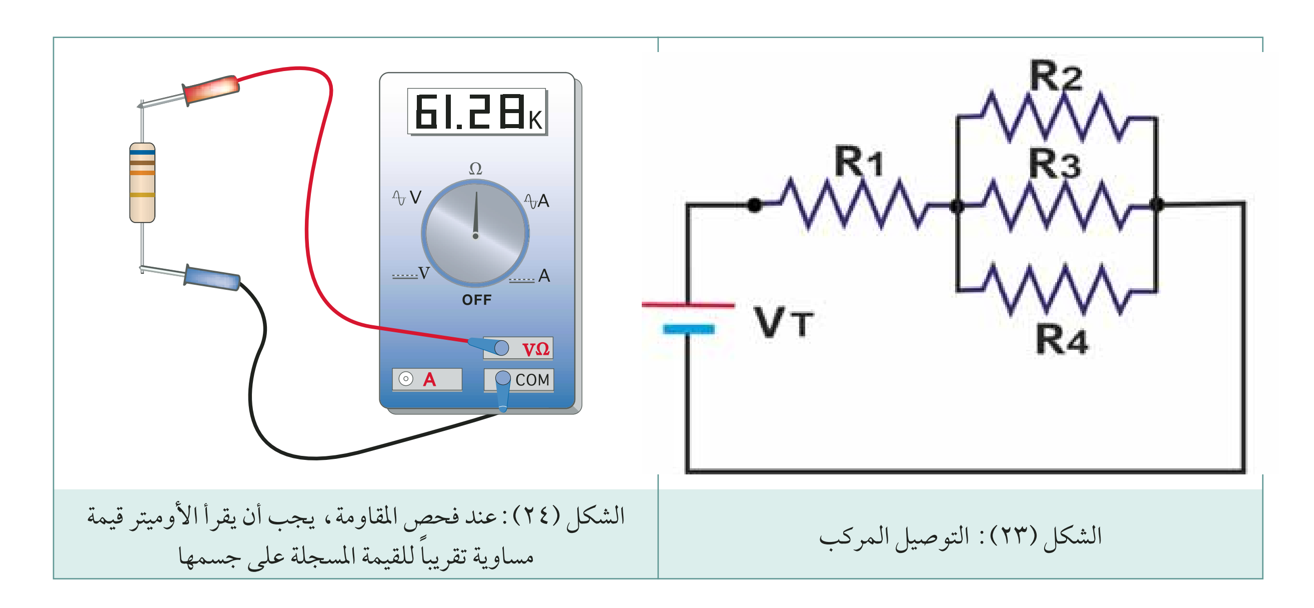
الحـــــــل

بما أن المقاومات متساوية يمكن استخدام المعادلة:

$$R_T = \frac{R}{N} = \frac{200}{4} = 50\Omega$$

٣ التوصيل المركب:

يمكن الجمع بين التوصيل على التوالي والتوصيل على التوازي كما موضح في الشكل (٢٣)، وفيه المقاومات (R_2)، (R_3)، (R_4) موصولة على التوازي، وهذه المجموعة موصولة على التوالي مع المقاومة (R_1). وفي حالة المزج بين توصيل التوالي والتوازي في دارة ما، فإن ذلك يعرف بالتوصيل المركب.



الشكل (٢٣): التوصيل المركب

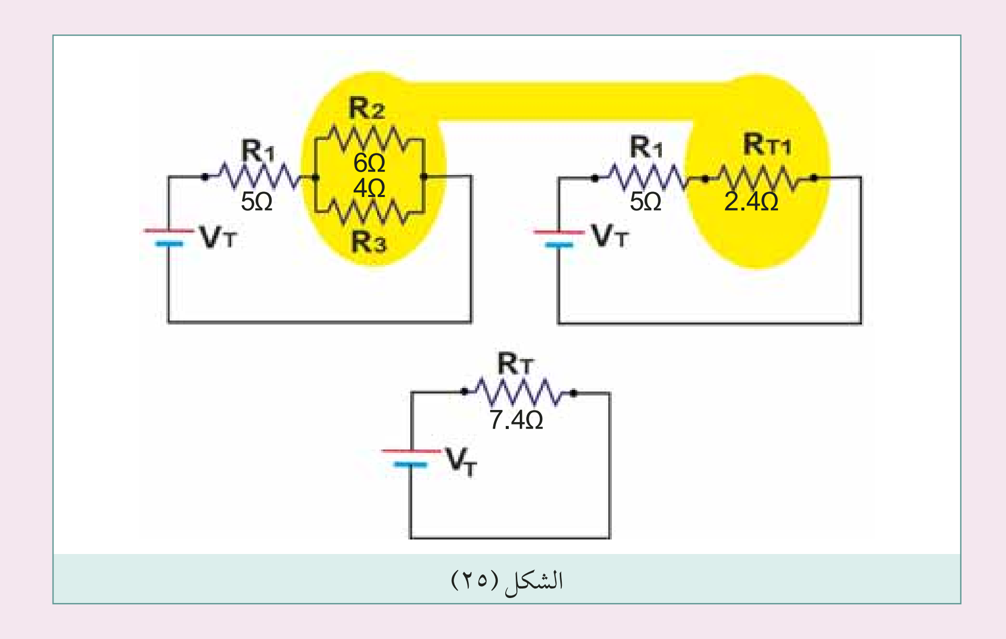
الشكل (٢٤): عند فحص المقاومة، يجب أن يقرأ الأوميتر قيمة مساوية تقريباً للقيمة المسجلة على جسمها

خامساً أعطال المقاومات

تتعطل المقاومة عادة نتيجة زيادة التيار المار عبرها عن الحد المسموح به، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها إلى الحد الذي ينقطع معه السلك المكون للمقاومة السلكية أو تتفتت المقاومة الكربونية. ينتج من تعطل المقاومة دارة مفتوحة في مكانها، ويتم اكتشاف عطل المقاومة بقياس قيمتها باستخدام الأوميتر، بعد فصل مصدر التغذية عن الدارة وفصل أحد أطراف المقاومة. وهناك عطل آخر يسمى تغير القيمة نتيجة للاستعمال المتكرر، حيث ترتفع قيمة المقاومة دون أن تحترق. يجب استبدال المقاومة التالفة بأخرى لها نفس المواصفات من حيث القيمة بالأوم والقدرة الأقصوى بالواط.

مثال ١٠

احسب المقاومة الكلية للدارة الكهربائية المبينة في الشكل (٢٥).



الشكل (٢٥)

الحل

يتطلب إيجاد المقاومة الكلية لهذه الدارة العمل على مراحل:

الخطوة الأولى: بما أن المقاومتين (R_2 و R_3) موصولتان على التوازي، يمكن دمجهما في مقاومة مكافئة (R_{T1}):

$$R_{T1} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \times 4}{6 + 4} = 2.4\Omega$$

الخطوة الثانية: بما أن المقاوماتين (R_1 و R_{T1}) موصولتان على التوالي، يمكن أن يجمعا في مقاومة مكافئة (R_T):

$$R_T = R_1 + R_{T1}$$
$$= 5 + 2.4$$
$$= 7.4\ \Omega$$

أسئلة الدرس:

١ المقاومة الكهربائية هي : .... وتقاس بوحدة : ....

٢ تعتمد مقاومة موصل ما على أربعة عوامل هي : ....

٣ المقاومة النوعية للمادة هي..

٤ تقاس المقاومة النوعية بوحدة : ....

٥ العلاقة التي تستخدم في حساب مقاومة الموصل بدلالة أبعاده ونوع مادته هي : ....

٦ سلك من النحاس طوله (80) متر ، المقاومة النوعية للنحاس (0.0178) أوم متر . احسب مقاومة السلك إذا كانت :

أ مساحة مقطعه (1,5) مم^2 .　　　ب مساحة مقطعه (2,5) مم^2 .

قارن الإجابتين واكتب ملاحظاتك .

٧ المعامل الحراري يعرف بأنه : ....

٨ مقاومة الأسلاك الكهربائية غير مرغوب فيها لأنها تسبب :

أ ....　　ب ....

٩ اذا سرى في موصل تيار اكبر من تياره المقرر فإن ذلك يؤدي إلى : ....

١٠ أنواع المقاومات الثابتة هي:

أ ....　　ب ....　　ج ....

١١ ارسم تركيب ورموز المقاومات التالية :

أ الكربونية .　　ب السلكية .　　ج المتغيرة .

١٢ ماذا نعني بالاختصارات التالية:

أ (PTC) : ....

ب (NTC) : ....

ج (VDR) : ....

١٣ اذكر استخدامات المقاومات التالية :

أ (PTC) : ....

ب (NTC) : ....

ج (VDR) : ....

د المقاومة الكربونية كمصهر : ....

١٤ مقاومة متغيرة 1000أوم، ارسم كيفية توصيلها للحصول على مقاومة متغيرة من صفر إلى (1000) أوم .

١٥ أين تستخدم أسلاك أكبر سمك في التمديدات الكهربائية . في الخطوط الرئيسة أم الفرعية؟ ولماذا؟

١٦ مقاومة كربونية عليها أربع حلقات لونية هي على الترتيب أصفر ، بنفسجي، أحمر ، فضي . ما قيمة هذه المقاومة ؟ ما قيمة السماح فيها؟

١٧ مقاومة كربونية عليها أربع حلقات لونية هي على الترتيب : أحمر ، أحمر ، ذهبي ، ذهبي ، ما قيمة هذه المقاومة؟ ما قيمة السماح فيها .

١٨ وصلت المقاومات (20)، و(25)، و(35) أوم على التوالي، ارسم الدارة الكهربائية وأحسب المقاومة الكلية للدارة .

١٩ ثلاثة سخانات وصلت على التوالي بين طرفي مصدر (220) فولت، R1=12Ω، R2=18Ω، R3=15Ω المطلوب :

أ ارسم الدارة الكهربائية .
ب أحسب المقاومة المكافئة (الكلية) .
ج ارسم الدارة المكافئة .
د احسب التيار المار في الدارة .
هـ احسب هبوط الجهد على كل سخان .

٢٠ علل : المصابيح الموصولة على التوالي بين طرفي مصدر (220) فولت تكون شدة إضاءتها منخفضة .

٢١ أربعة مصابيح اضاءة متشابهة (220فولت/ 100واط) مقاومة كل منها (484) أوم وصلت على التوالي بين طرفي مصدر (220) فولت، المطلوب :

أ ارسم الدارة الكهربائية .
ب احسب المقاومة المكافئة
ج احسب التيار المار عبر المصابيح .
د هبوط الجهد على كل مصباح
هـ القدرة الحقيقية لكل مصباح (التيار المار في المصباح × هبوط الجهد على المصباح)

٢٢ وصلت المقاومات (30)، و(60)، و(120) أوم على التوازي ارسم الدارة الكهربائية واحسب المقاومة المكافئة .

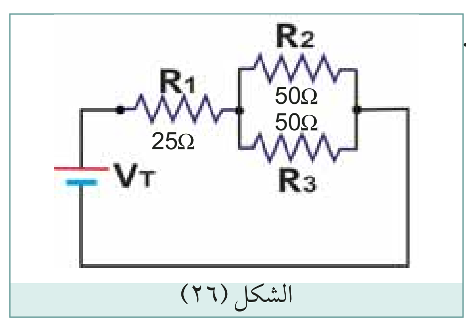
٢٣ وصلت المقاومتين (12) و(8) أوم على التوازي ارسم الدارة الكهربائية واحسب المقاومة المكافئة .

٢٤ حبل زينة يحتوي على عشرين مصباح ملون متشابهة مقاومة كل منها (100) أوم المطلوب :

أ احسب المقاومة المكافئة .
ب احسب قيمة التيار الكلي وقيمة التيار المار في كل مصباح إذا كان جهد المصدر (220) فولت .

٢٥ علل : في المنازل والمصانع توصل الأجهزة الكهربائية على التوازي بين طرفي المصدر الرئيسي .

٢٦ في الدارة المبينة في الشكل (٢٦) ، احسب المقاومة المكافئة .



الشكل (٢٦)

٢٨ كيف تجهز مقاومة قيمتها (50) أوم، إذا توفرت مجموعة مقاومات قيمة كل منها (120) أوم، ومقاومة أخرى قيمتها (10) أوم .

الـدرس ٢

قانون أوم

تعتمد قيم الجهد والتيار والمقاومة في الدارة الكهربائية على بعضها البعض، وقانون أوم هو القانون الذي يوضح العلاقة التي تربط الوحدات الكهربائية الثلاثة المذكورة أعلاه. ولقد سمي بهذا الاسم نسبة إلى العالم الألماني جورج أوم الذي اكتشف هذه العلاقة. وينص على ما يلي: "تتناسب شدة التيار المار في موصل تناسباً طردياً مع فرق الجهد بين طرفي الموصل وعكسياً مع مقاومته".

إن البطارية أو المولد هو مصدر الجهد في الدارة الكهربائية. والجهد هو القوة التي تسبب سريان التيار الكهربائي. وبناء عليه، كلما زاد الجهد زاد التيار، وكلما قل الجهد قل التيار، بفرض أن قيمة المقاومة ثابتة. وبإفتراض أن الجهد ثابت، فإن وجود مقاومة عالية يؤدي إلى مرور تيار منخفض، وبالعكس فإن وجود مقاومة منخفضة يؤدي إلى مرور تيار مرتفع.

١ حساب قانون أوم

هناك ثلاثة أشكال حسابية لقانون أوم وهي:

أ التيار:

التيار = الجهد ÷ المقاومة

$$I = \frac{V}{R}$$

تستخدم هذه العلاقة لإيجاد قيمة التيار بدلالة الجهد والمقاومة. وتنص (هذه العلاقة) على أن قيمة التيار تساوي قيمة الجهد مقسومة على قيمة المقاومة.

ب المقاومة:

المقاومة = الجهد ÷ التيار

$$R = \frac{V}{I}$$

تستخدم هذه العلاقة لإيجاد قيمة المقاومة بدلالة الجهد والتيار. وتنص (هذه العلاقة) على أن قيمة المقاومة تساوي قيمة الجهد مقسومة على قيمة التيار.

جـ الجهد:

الجهد = المقاومة × التيار

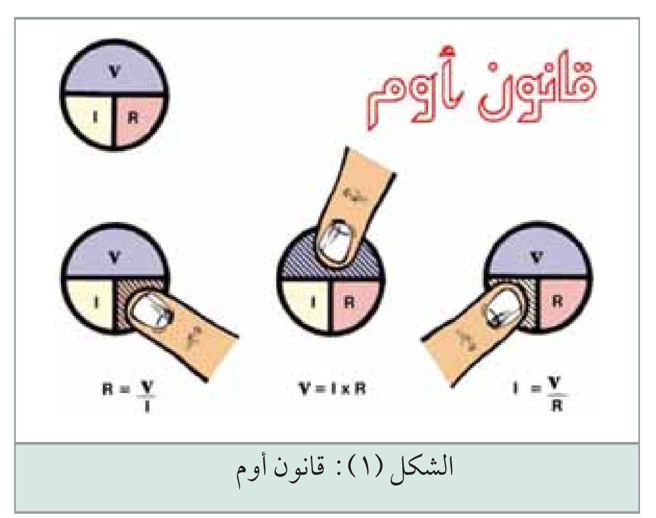
$$V = R\,I$$

تستخدم هذه العلاقة لإيجاد قيمة الجهد بدلالة التيار والمقاومة. وتنص على أن قيمة الجهد بين طرفي أي مقاومة تساوي حاصل ضرب قيمة التيار المار عبر المقاومة في قيمة المقاومة.

٢ دائرة قانون أوم

إن أسهل طريقة لتذكر العلاقة بين الجهد والتيار والمقاومة هي استخدام دائرة قانون أوم المبينة في الشكل (١).

لاستخدام دائرة قانون أوم، غط إصبعك قيمة الوحدة المجهولة، فتظهر العلاقة المطلوبة لحساب القيمة المجهولة كما هو موضح في الشكل (١).



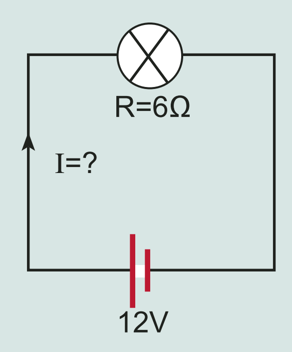
الشكل (١): قانون أوم

مثال (١):

مصباح سيارة يعمل ببطارية قوتها الدافعة الكهربائية (12) فولت. فإذا كانت مقاومة المصباح(6) أوم، احسب شدة التيار المار في هذا المصباح؟

الحل:

ترسم الدارة الكهربائية، وتسجل معطياتها.



الجهد = (12) **فولت** (V=12)

المقاومة = (6) **أوم** (R= 6)

التيار = (؟) **أمبير** (I = ?)

تكتب العلاقة المطلوبة بالاستعانة بدائرة قانون أوم، إذا لزم.

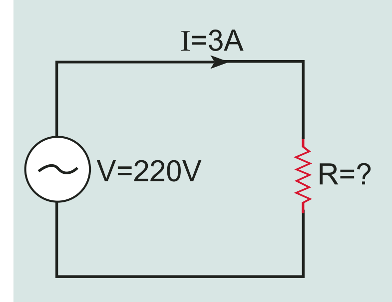
$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{12}{6} = 2A$$

مثال (٢) :

سخان إذابة ثلج يعمل من مصدر جهد (220)فولت ويسحب تياراً مقداره (3) أمبير جد مقاومة السخان؟

الحل :



ترسم الدارة الكهربائية، وتسجل معطياتها .

الجهد = (220) **فولت** (V=220)

التيار = (3)**أمبير** (I = 3 A)

المقاومة = (؟) أوم (R = ?)

تكتب العلاقة المطلوبة بالاستعانة دائرة قانون أوم، إذا لزم .

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{220}{3} = 73\ \Omega$$

أسئلة الدرس الرابع

١ أذكر نص قانون أوم؟

٢ ماذا يحدث عند تعريض مصباح كهربائي لجهد أعلى من جهده المقرر؟ ولماذا؟

٣ ماذا يحدث عند تعريض مصباح كهربائي لجهد أقل من جهده المقرر؟ ولماذا؟

٤ مصباح سيارة مقاومته(4) أوم يعمل من بطارية (12) فولت . ارسم الدارات الكهربائية واحسب شدة التيار المار في المصباح .

٥ سخان إذابة ثلج مقاومته (80)أوم يعمل من مصدر جهد متردد (220) فولت . ارسم الدارة الكهربائية واحسب شدة التيار المار في السخان .

٦ مقاومة قيمتها (6)أوم، يسري عبرها تيار شدته أمبير . أرسم الدارة الكهربائية واحسب فرق الجهد بين طرفي المقاومة .

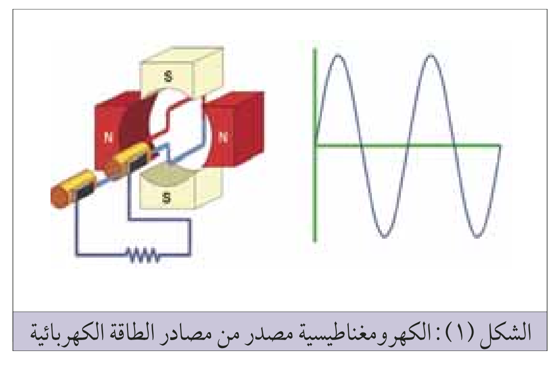


الطاقة والقدرة الكهربائية

الكهرباء هي أحد أشكال الطاقة. وكما هو معروف، فإن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، وإنما تتحول من شكل إلى آخر. ويمكن إنتاج الطاقة الكهربائية بتحويل مختلف أشكال الطاقة الميكانيكية والكيميائية والضوئية والحرارية إلى طاقة كهربائية. كما تستخدم الأجهزة الكهربائية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة المفيدة مثل الطاقة الحرارية، والضوئية، والميكانيكية، والكيميائية.

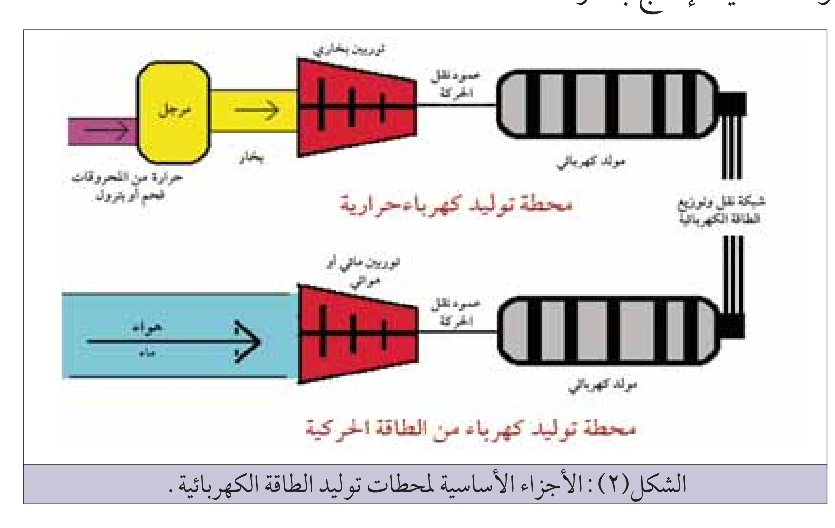
١ توليد الطاقة الكهربائية

تعتبر المولدات الكهربائية من أهم مصادر الطاقة الكهربائية، وتعتمد في عملها على ظاهرة التأثير الكهرومغناطيسي، حيث تدور الموصلات (ملفات المولد) داخل مجال مغناطيسي فيتولد فيها بالتأثير قوة دافعة كهربائية، كما موضح في الشكل (١).



الشكل (١): الكهرومغناطيسية مصدر من مصادر الطاقة الكهربائية

في محطات توليد الطاقة الكهربائية الحرارية يستخدم الفحم أو البترول أو الطاقة النووية أو الشمسية لإنتاج بخار ماء ذو ضغط عالي، هذا البخار يستعمل في تشغيل توربينات بخارية ضخمة تقوم بدورها بتشغيل مولدات كهربائية. كما وتدار المولدات الصغيرة والمتوسطة بوساطة محركات الديزل. أما في محطات توليد الطاقة الكهربائية الحركية فتستخدم الهواء أو الماء.

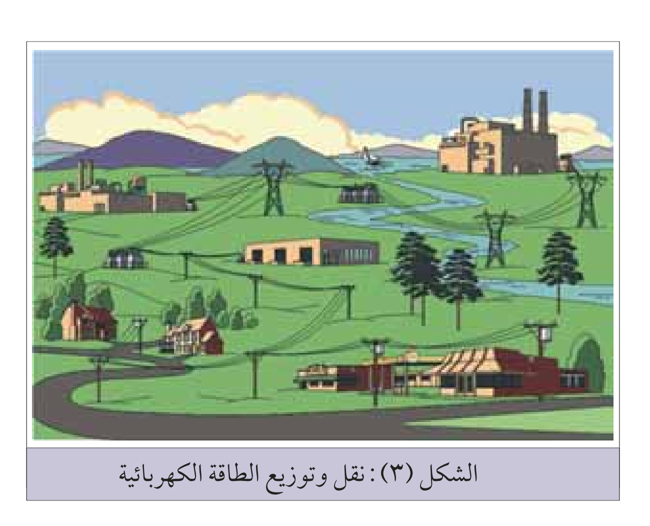


الشكل(٢): الأجزاء الأساسية لمحطات توليد الطاقة الكهربائية.

٢ نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

تنقل الطاقة الكهربائية من محطة توليد الطاقة الكهربائية إلى المستهلك بوساطة خطوط أو موصلات يطلق عليها شبكات النقل والتوزيع الكهربائية. ويبين الشكل (٣) رسماً تصويرياً لإحدى هذه الشبكات، والتي تبدأ من محطة توليد القدرة الكهربائية وتنتهي بالمستهلك.

وتحتوي شبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية على :



الشكل (٣) : نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

أ توربينات مائية أو بخارية تعمل على تشغيل المولدات .

ب مولدات كهربائية تنتج جهداً يتراوح بين (6-10) كيلو فولت .

جـ محولات ترفع الجهد إلى (33) كيلو فولت ، أو (132) كيلو فولت، أو أكثر . يتم رفع الجهد وخفض التيار وذلك لتخفيض القدرة المفقودة في خطوط النقل ، بالإضافة إلى تقليل هبوط الجهد في الأسلاك وتقليل التكلفة عن طريق استخدام أسلاك ذات مساحة مقطع أصغر .

د خطوط الضغط العالي الهوائية التي تنقل الطاقة الكهربائية عبر المناطق الريفية إلى المدن والمراكز الصناعية .

هـ محطات فرعية تحتوي على محولات تخفض الجهد المرتفع إلى جهد متوسط يتراوح من (6-15) كيلو فولت .

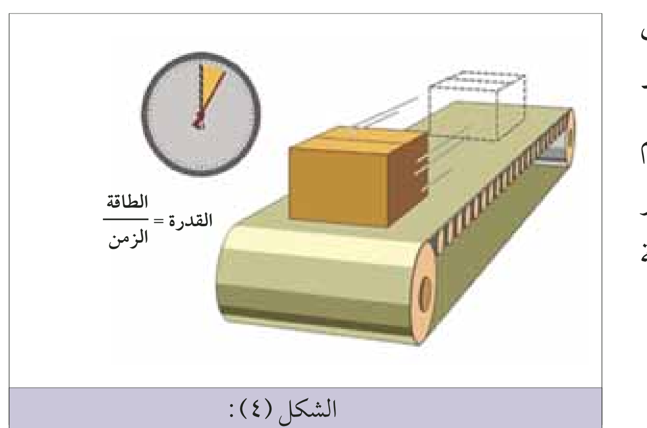
و خطوط جهد متوسط تنقل الطاقة الكهربائية عبر شوارع المدن والمراكز الصناعية .

ز محولات تخفض الجهد المتوسط إلى جهد منخفض ، أي إلى (220) فولت أو (380) فولت .

حـ كيبلات أرضية أو هوائية تزود المستهلك بالجهد المنخفض .

٣ القدرة الكهربائية (Electical Power)

في الشكل(٤)يبذل محرك حزام النقل شغل في نقل الصندوق من نقطة إلى أخرى على امتداد خط النقل . وتعطى قيمة الشغل المبذول في تحريك جسم ما بالعلاقة التالية يقاس الشغل بوحدة النيوتن . متر وتسمى أيضاً " الجول " وهي نفس الوحدة المستخدمة لقياس الطاقة .

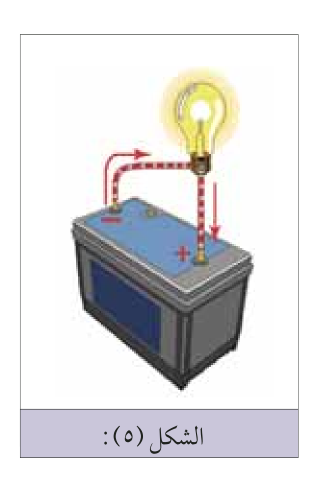


الشكل (٤) :

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}}$$

أما القدرة فهي المعدل الذي يتم به بذل الشغل ، أي مقدار الشغل المبذول في الثانية الواحدة :

وحدة قياس القدرة هي " الجول في الثانية " ، وتسمى أيضاً " الواط " تكريماً للعالم " جيمس واط " مخترع الآلة البخارية ، ويرمز للواط بالحرف (W) .



الشكل (٥):

في الدارة الكهربائية يبذل مصدر الجهد شغلاً (طاقة) في تحريك الإلكترونات (التيار) عبر أجزاء الدارة. ويسمى معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في دفع التيار الكهربائي عبر أجزاء الدارة القدرة الكهربائية، ويرمز لها بالحرف (P) وتقاس بوحدة الواط. وبما أن الجهد يمثل القوة والتيار يمثل الحركة فأن القدرة الكهربائية تساوي حاصل ضرب التيار بالجهد:

القدرة = التيار x الجهد

$$P = I \times V$$

حيث أن:

P: القدرة بالواط

I: شدة التيار بالأمبير

V: الجهد بالفولت

وبما أن الواط وحدة صغيرة فإنها لا تلائم كافة التطبيقات العملية. لذلك يستخدم الكيلو واط كوحدة عملية لقياس القدرة، وهو يساوي (1000) واط، ويرمز له بالحرفين (KW).

مثال (١):

مسخن كهربائي جهده (220) فولت، يسحب تياراً مقداره (5) أمبير. احسب قدرة المسخن بالواط، والكيلو واط.

الحل:

القدرة = التيار × الجهد

القدرة بالواط = 5 × 220 = 1100 واط

القدرة بالكيلو واط = 1100 ÷ 1000 = 1.1 كيلو واط

يسجل عادة على لوحة مواصفات الأجهزة الكهربائية، القدرة وجهد التشغيل المقرر لها. وقد يكون من المرغوب فيه معرفة قيمة التيار الذي يسحبه الجهاز ليتسنى لنا على سبيل المثال، تقدير مقاس أسلاك التوصيل، وتيار المنصهر أو القاطع التلقائي اللازم لحماية هذا الجهاز. ويمكن حساب قيمة التيار بدلالة القدرة والجهد للأحمال الأومية كالسخانات الكهربائية بالعلاقة التالية:

$$\text{التيار} = \frac{\text{القدرة}}{\text{الجهد}}$$

مثال (٢) :

فرن كهربائي قدرته (5) كيلو واط ، يعمل بجهد (220) فولت . احسب شدة التيار الذي يسحبه الفرن .

الحل :

الجهد = (220) فولت

القدرة = (5) كيلو واط = (5000) واط

التيار = (؟)

التيار = القدرة ÷ الجهد

التيار = 5000 ÷ 220 = 22.7 أمبير

تبدد القدرة الكهربائية بشكل حرارة في الموصلات والمقاومات والعناصر الإلكترونية الأخرى . وفي بعض الأحيان تكون هذه الحرارة مفيدة كما في المسخنات والأفران الكهربائية . ولكنها قد تكون غير مفيدة في العديد من الأجهزة الأخرى، بل وربما تكون ضارة، كما في الموصلات والمحركات والمحولات والعناصر الإلكترونية .

ويمكن دمج قانون أوم($V = IR$) وقانون القدرة الأساسي($P = IV$) لإيجاد علاقة تعبر عن القدرة المبددة في المقاومة بشكل مباشر . وهناك شكلين لهذه العلاقة، هما :

١ – القدرة بدلالة التيار والمقاومة :

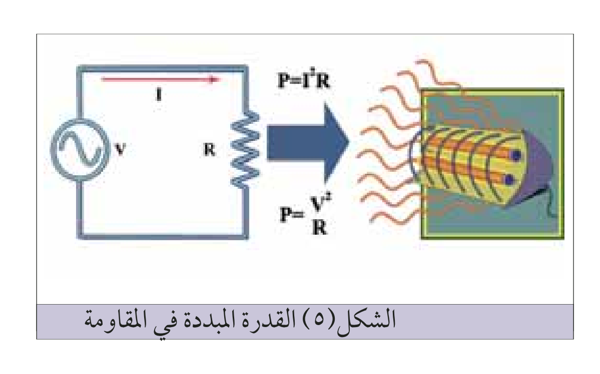
القدرة = مربع التيار × المقاومة

$$P = I^2 \times V$$

ب–القدرة بدلالة الجهد والمقاومة :

القدرة = مربع الجهد ÷ المقاومة

$$P = \frac{V^2}{R}$$



الشكل(٥) القدرة المبددة في المقاومة

مثال (٣) :

مصباح كهربائي مقاومته (484) أوم، وجهده (220) فولت . احسب قدرته .

الحل : المقاومة = (484) أوم

الجهد = (220) فولت

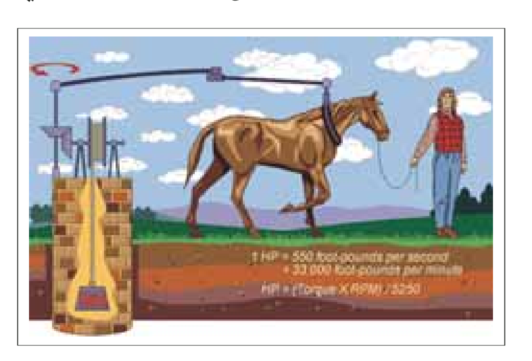
القدرة = (؟)

القدرة = مربع الجهد ÷ المقاومة

القدرة = (220 × 220) ÷ 484 = 100 واط

القدرة الحصان (Horse Power)

تعطى قدرة المحركات والمضخات الكهربائية في بعض الأحيان بوحدة الحصان الميكانيكي، وهي تعادل (746) واط، ويرمز لها بالحرفين (HP). وقد وضعت هذه الوحدة لقياس القدرة من قبل جيمس واط الذي كان يعمل في مجال تصنيع المحركات البخارية، وكان دائماً يسأل (كم حصان يكافئ هذا المحرك)، ونتيجة لتجاربه الكثيرة التي استنتج فيها أن الحصان إذا ركض حول دولاب لرفع ثقل لمدة مناسبة من الزمن، فمعدل ما ينجزه من قدرة مقدارها 746 واط. ومن المناسب أن تتذكر بأن الحصان الواحد يساوي (4\3) كيلو واط تقريباً.



٤ الطاقة الكهربائية المستهلكة (Electical Energy)

تحسب الطاقة الكهربائية المستهلكة بمعرفة قدرة الأجهزة الكهربائية وزمن استخدامها، حيث أن:

الطاقة = القدرة × الزمن

حيث تقدر الطاقة بالكيلو واط. ساعة (KWh)، والقدرة بالكيلو واط، والزمن بالساعة.

وتحتوي لوحة التوزيع الرئيسة في المنازل والمصانع على عداد لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة والتي يحاسب بناء عليها المستهلك، لاحظ الشكل(٦). والأجهزة الكهربائية الأكثر استهلاكاً لطاقة الكهربائية هي الأجهزة ذات القدرة العالية مثل أجهزة التسخين والتدفئة وتكيف الهواء. والجدول التالي يوضح قدرة بعض الأجهزة الشائعة الاستخدام في الحياة العملية:


الشكل (٦)جهاز قياس الطاقة الكهربائية

الجهاز	القدرة
مصابيح الإضاءة	تتوفر بقدرات مختلفة تتراوح من10 واط إلى 100واط
المكاوي الكهربائية	2000-1000 واط
الثلاجة المنزلية	300واط
المدفئة الكهربائية	2200 واط
الأفران الكهربائية	3000 واط
جهاز التلفزيون	80 واط

مثال (٤) :

مدفأة كهربائية قدرتها (2) كيلو واط ، تعمل لمدة (8) ساعات . احسب الطاقة الكهربائية المستهلكة في هذه الفترة وتكاليفها إذا كان سعر الكيلو واط . ساعة(30) فلساً .

الحل :

قدرة المدفأة =(2) كيلو واط .

زمن العمل = (8)ساعات

سعر الكيلو واط . ساعة = (30) فلساً

الطاقة المستهلكة = (؟) كيلو واط . ساعة

تكاليف الاستهلاك = (؟) فلساً

الطاقة المستهلكة (كيلوواط . ساعة) = القدرة × الزمن

الطاقة المستهلكة (كيلو واط . ساعة) = 2 × 8 = 16 كيلو واط . ساعة

تكاليف الطاقة المستهلكة = الطاقة المستهلكة × سعر الكيلواط . ساعة

تكاليف الطاقة المستهلكة = 30 × 16= 480 فلساً

أسئلة الدرس

١ املأ الفراغ بالكلمة أو العبارة المناسبة :

أ القدرة الكهربائية هي : ....

ب وحدة قياس القدرة هي : ....

جـ لتحويل القدرة بالواط إلى كيلو واط ، نقسم القدرة مقدرة بالواط على : ....

د لتحويل القدرة بالكيلواط إلى واط ، نضرب القدرة مقدرة بالكيلواط بـ -------- .

هـ الحصان الميكانيكي يعادل : ....واط

و لتحويل القدرة بالحصان إلى واط ، نضرب القدرة مقدرة بالحصان بـ ---------- .

ز اكتب الصيغ الثلاث لقانون القدرة الأساسي :

١ ....

٢ ....

٣ ....

٢ مسخن إذابة الجليد عن سطح ثلاجة منزلية ، يسحب تياراً مقداره (3) أمبير ، فإذا كان جهده (220) فولت ، أحسب قدرته بالواط ؟

٣ مدفأة كهربائية تعمل بجهد (220) فولت ، وتسحب تياراً مقدار(11) أمبير . احسب قدرة المدفأة بالواط والكيلواط .

٤ سخان كهربائي قدرته (4) كيلو واط ، يعمل بجهد (220)فولت ، احسب شدة التيار الذي يسحبه هذا الحمل .

٥ اكتب العلاقة التي تعطي القدرة بدلالة التيار والمقاومة .

٦ مسخن كهربائي مقاومته (50) أوم ، يسري فيه تيار مقداره (5)أمبير . احسب قدرة المسخن بالواط والكيلواط .

٧ اكتب العلاقة التي تعطي القدرة بدلالة الجهد والمقاومة . ------------------- .

٨ مصباح كهربائي مقاومته (806) أوم ، وجهده (220) فولت . احسب قدرة المصباح .

٩ اكتب العلاقة التي تعطي الطاقة الكهربائية المستهلكة . ------------------- .

١٠ اذكر الوحدة العملية لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة ورمزها . ------------------- .

١١ ثلاجة تجارية قدرتها (1,5) كيلو واط ، تعمل لمدة (12) ساعة يومياً . احسب الطاقة الكهربائية المستهلكة ، وتكاليفها إذا كان سعر الكيلو واط ساعة (30) فلساً .

الـدرس ٤

قانون كيرشوف

لقد لاحظت في الدرس السابق أنه يمكن استخدام قانون أوم في تحليل(حساب التيار والجهد) الدارات الكهربائية البسيطة التي تحتوي على مقاومة واحدة أو عدة مقاومات موصولة على التوالي أو التوازي. ولكن هناك الكثير من الدارات الكهربائية المعقدة التي لا يمكن تحليلها باستخدام قانون أوم بمفرده.

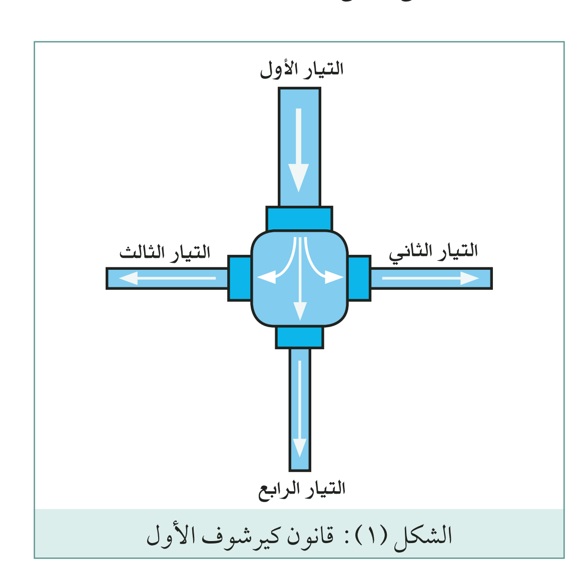
هناك العديد من القوانين والطرق التي تيسر عملية تحليل الدارات الكهربائية المعقدة، ولعل أكثرها شيوعاً قانوني كيرشوف لتحليل الدارات الكهربائية المعقدة .

وضع العالم جوستاف كيرشوف قانونان مهمان لتحليل الدارات الكهربائية المعقدة ، ويعرف القانون الأول باسم قانون كيرشوف للتيار ، بينما يسمى القانون الثاني قانون كيرشوف للجهد . والآن لنشرح هذين القانونين بشيء من التفصيل .

١ قانون كيرشوف الأول للتيار

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبري للتيارات الكهربائية في أي عقدة (نقطة تفرع أو توصيل) في الدارة الكهربائية يساوي صفرا . ويمكن صياغة هذا القانون بصورة ابسط ، حيث يمكن القول أن المجموع الجبري للتيارات القادمة إلى نقطة معينة (عقدة) يساوي مجموع التيارات الخارجة من نفس العقدة .

ويجب التنويه أن مصطلح جبري الوارد في قانوني كيرشوف يشير إلى حتمية الانتباه لنوع القطبية التي يتمتع بها كل تيار أو جهد كهربائي، وذلك بإعطائها الإشارة المناسبة لها : إما إن تكون موجبة(+) أو تكون سالبة(−) .



الشكل (١) : قانون كيرشوف الأول

لفهم قانون كيرشوف الأول انظر إلى الشكل(١) ، لاحظ هنا أن التيار 1 هو الوحيد المتجه إلى العقدة بينما هنالك ثلاثة تيارات (تيار 2 ، تيار 3، وتيار 4) تغادر نفس العقدة . أي أنه عندما يدخل التيار 1 إلى العقدة فإنه لا يوجد له طريق أخر سوى التوزع والمغادرة عن طريق الفتحات الثلاث الأخرى .

لو ترجمنا هذا إلى معادلة لكتبناها كما يلي :

التيار 1 = التيار 2 + التيار 3 + التيار 4

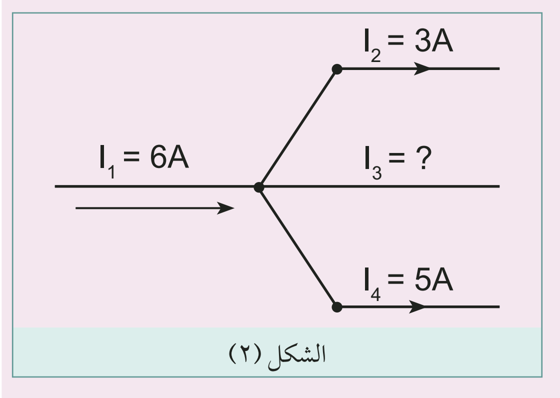
$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

لاحظ هنا أننا اعتبرنا التيار الداخل إلى العقدة موجب والتيار المغادر للعقدة سالب .

مـــثــــال ١

أوجد قيمة واتجاه التيار(I_3) في الشكل(٢) .



الشكل (٢)

الحــــــل

نفرض أن التياران (I_1) و(I_3) متجهان إلى العقدة، بينما التياران (I_2) و (I_4) يغادران العقدة . الآن إذا طبقنا قانون كيرشوف للتيار أي مجموع التيارات القادمة إلى نقطة معينة (عقدة) يساوي مجموع التيارات الخارجة من نفس العقدة :

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

$$6 + I_3 = 3 + 5$$

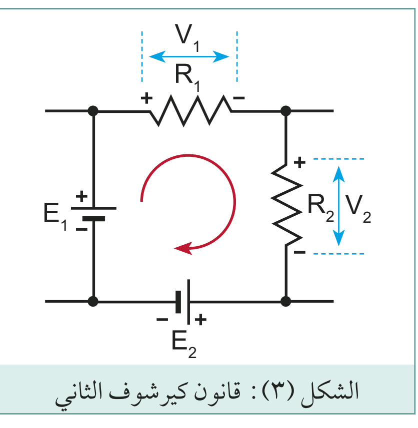
$$I_3 = 8 - 6 = 2A$$

٢ قانون كيرشوف الثاني للجهد

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبري لجميع قيم الجهد الكهربائي على حلقة مغلقة في الدارة الكهربائية يساوي صفراً .

ويمكن صياغة هذا القانون بصورة ابسط ، حيث يمكن القول أن المجموع الجبري لحاصل ضرب المقاومات والتيارات السارية في أي حلقة مغلقة في الدارة الكهربائية يساوي المجموع الجبري للقوى الدافعة الكهربائية فيها مأخوذة في ترتيب دوري واحد .

$$\sum emf = \sum I \times R$$



الشكل (٣) : قانون كيرشوف الثاني

ويجب الانتباه إلى الإشارات الجبرية أثناء تطبيق هذا القانون . ويعد اتجاه القوة الدافعة الكهربائية للبطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب لها بغض النظر عن اتجاه التيار في البطارية . أما اتجاه فرق الجهد بين طرفي المقاومة فهو نفس اتجاه التيار فيها .

فإذا أخذنا اتجاه دوران عقارب الساعة ، هو الاتجاه الدوراني الموجب فإن كل قوة دافعة كهربائية وتيار كهربائي في اتجاه عقارب الساعة يكون موجباً وكل ما خالف ذلك يكون سالباً .

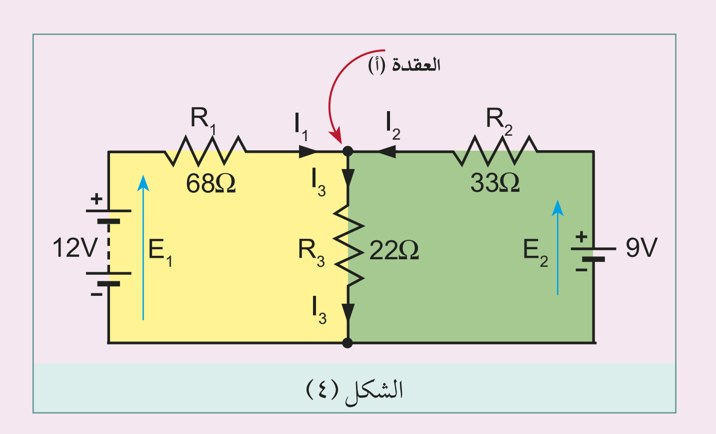
دعنا الآن نطبق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة المبينة في الشكل(٣) .

$$E_1 - E_2 = V_1 + V_2$$

$$E_1 - E_2 = I\,(R_1 + R_2)$$

مـــثـــال ٢

أحسب قيمة التيار المار في كل مقاومة في الدارة المبينة في الشكل(٤).



الشكل (٤)

الحـــــــل

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار على العقدة(أ):

$$I_1 + I_2 = I_3$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة اليسرى(الصفراء):

$$E_1 = I_1 \times R_1 + I_3 \times R_3$$

$$E_1 = I_1 \times R_1 + (I_{1\,+}\,I_2) \times R_3$$

$$12 = 68\ I_1 + 22\ (I_1 + I_2)$$

$$12 = 90\ I_1 + 22\ I_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ (1)$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة الكبرى الخارجية(الصفراء+الخضراء):

$$12 - 9 = 68\ I_1 - 33\ I_2$$

$$3 = 68\ I_1 - 33\ I_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ (2)$$

والان يجب علينا حل المعادلتين الآنيتين (1) و(2). فنقوم بضرب المعادلة الأولى بـ (3)، وضرب المعادلة الثانية بـ(2) فنحصل على:

$$36 = 270\ I_1 + 66\ I_2$$

$$6 = 136 - 6\ I_2$$

ثم نجمع هاتين المعادلتين فنحصل على :

$$42 = 406\, I_1$$

$$I_1 = 0.103A$$

ثم نعوض عن قيمة (I_1) في المعادلة الأولى :

$$12 = 90 \times 0.103 + 22\, I_2$$

$$I_2 = 0.124A$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0.103 + 0.124 = 0.227A$$

أسئلة

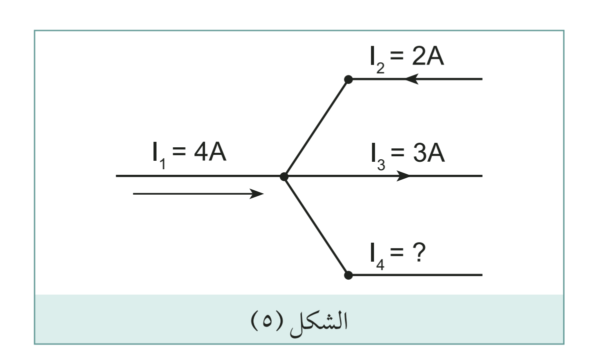
١ أذكر نص قانون كيرشوف الأول للتيار .

٢ إحسب قيمة واتجاه التيار الرابع في الشكل (٥) .

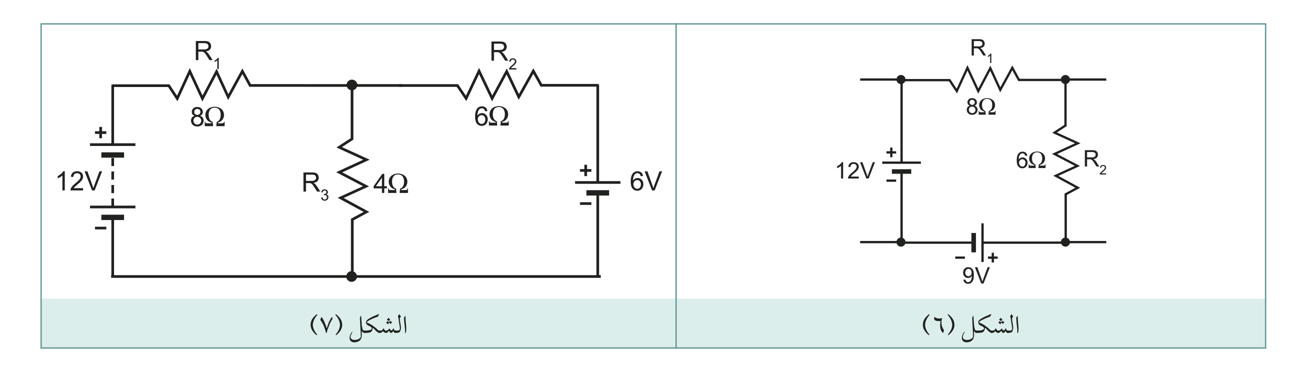
٣ أذكر نص قانون كيرشوف الثاني للجهد .

٤ إحسب قيمة التيار في الدارة المبينة في الشكل (٦) .

٥ إحسب قيمة التيار في الدارة المبينة في الشكل (٧) .

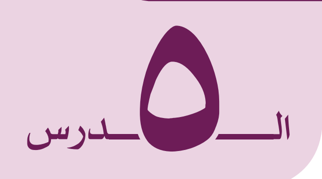


الشكل (٥)



الشكل (٦)

الشكل (٧)



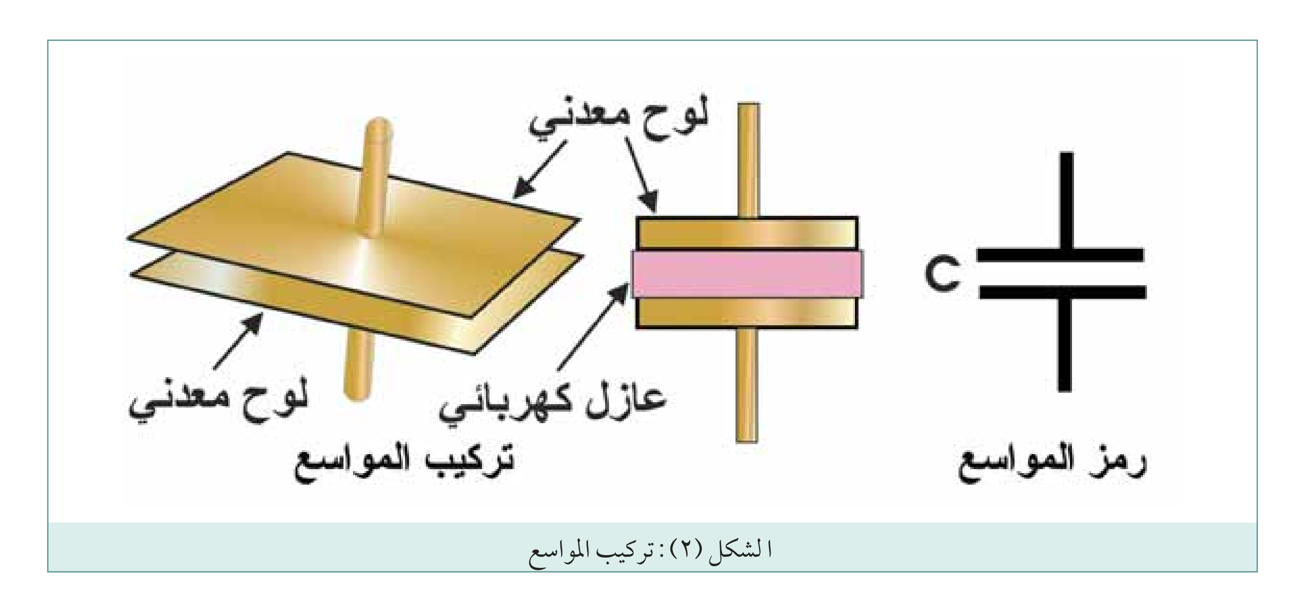
المواسعات


شكل (١) مواسعات

درست في درس سابق المقاومة الكهربائية بوصفها أحد عناصر الدارة الكهربائية، والآن ستتعرف على عنصر آخر من عناصر الدارة الكهربائية، وهو المواسع الكهربائي .(Capacitor) فالمواسع هو عنصر كهربائي يقوم باختزان الطاقة الكهربائية في أثناء عملية الشحن على شكل مجال كهربائي، وإطلاقها في أثناء عملية التفريغ. وفي هذا الدرس سنشرح المواسعات وأنواعها وخصائصها المختلفة.

١ تركيب المواسع

يتكون المواسع في أبسط أشكاله من لوحين معدنيين متوازيين، يفصل بينهما مادة عازلة، مثل الهواء أو الورق المشبع بالزيت أو مواد من البلاستيك أو الميكا أو مواد من السيراميك. ويوصل بكل لوح من لوحي المواسع طرف توصيل. ويبين الشكل (٢) طريقة تركيب المواسع في أبسط أشكاله.

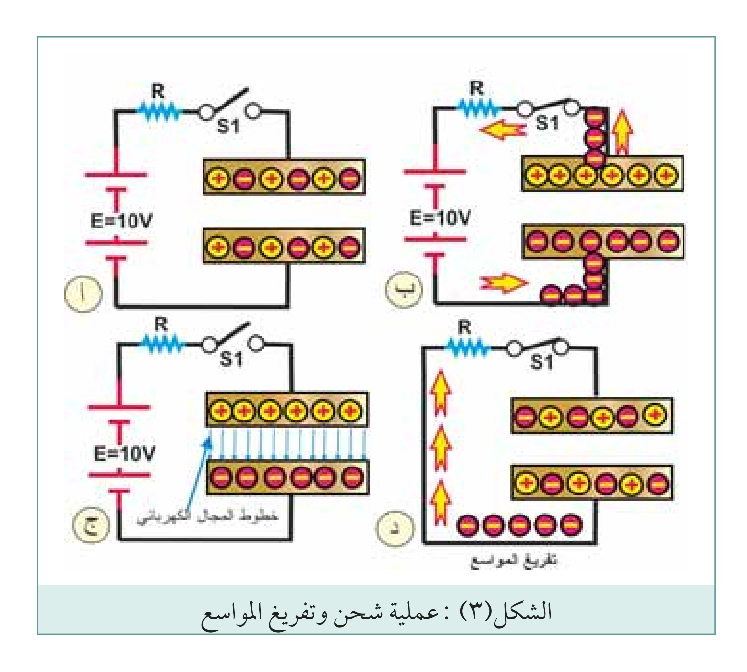


الشكل (٢): تركيب المواسع

٢ آلية عمل المواسع

سنناقش في هذه الفقرة ميكانيكية شحن وتفريغ المواسع، بالاستعانة بالرسوم التوضيحية المبينة في الشكل (٣). ففي الشكل (٣-أ) تلاحظ أن الجهد غير مطبق على المواسع، لذا يوجد عدد متماثل من الإلكترونات الحرة على كل لوح، وبالتالي لا يوجد فرق جهد بين لوحي المواسع.

فعند إغلاق المفتاح (S) المبين في الشكل (٣-ب)، تقوم البطارية بسحب الإلكترونات الحرة الموجودة على اللوح العلوي للمواسع باتجاه قطبها الموجب، كما تقوم بدفع كمية متساوية من الإلكترونات من قطبها السالب نحو اللوح السفلي للمواسع، ونتيجة لذلك يمر تيار في الدارة تتحدد قيمته بوساطة المقاومة الخارجية (R). إن فقد اللوح العلوي للإلكترونات الحرة يعطيه شحنة موجبة، كما أن زيادة الإلكترونات الحرة على اللوح السفلي يعطيه شحنة سالبة، ويؤدي هذا إلى توليد فرق جهد بين لوحي المواسع.



الشكل(٣) : عملية شحن وتفريغ المواسع

يستمر شحن المواسع حتى يصبح فرق الجهد بين لوحيه مساوياً للجهد بين قطبي البطارية. وبحسب الشكل (٣)، يستمر مرور التيار في الدارة حتى يصبح الجهد على طرفي المواسع (10) فولت، وعندما يصبح جهد المواسع مساوياً لجهد البطارية، يتوقف مرور التيار لأنه لم يعد يوجد فرق بين جهد المواسع وجهد البطارية.

يبين الشكل (٣-ج) أنه في الوقت الذي يصبح فيه المواسع مشحوناً، يمكن فتح المفتاح، وسيحافظ المواسع بعد ذلك على شحنته الموجودة بين لوحي المواسع التي تكون بشكل مجال كهربائي، تتجه خطوطه من اللوح الموجب إلى اللوح السالب. وعند فصل المواسع من الدارة يمكن استخدامه لفترة قصيرة كمصدر للجهد، ويتم تفريغ شحنته عند وصله بحمل كهربائي، حيث تعود ألواحه إلى التعادل مرة أخرى. وتلاحظ كذلك أن تيار الشحن أو التفريغ يمر في الدارة الخارجية لا يمر عبر المواسع نفسه؛ نظراً لوجود المادة العازلة بين لوحي المواسع.

٣ وحدات السعة الكهربائية

السعة (Capacitance) هي قياس لمقدار الشحنة التي يستطيع أن يختزنها مواسع عند تطبيق جهد معين عليه، ويرمز لها بالحرف (C) وتقاس بوحدة تسمى الفاراد، نسبة إلى العالم فارادي، ويرمز للفاراد بالحرف (F). وتقدر سعة المواسع بالعلاقة التالية:

$$\text{السعة (الفاراد)} = \frac{\text{الشحنة المخزونة (الكولوم)}}{\text{فرق الجهد بين الألواح (الفولت)}}$$

أو: $$C = \frac{Q}{V}$$

إن مواسعاً سعته (1) فاراد يكون ضخماً جداً، ولذا تستعمل وحدات الميكروفاراد (μF) والنانوفاراد (nF) والبيكوفاراد (pF) في التطبيقات العملية، علماً أن:

الميكروفاراد (μF) = 10^{-6} × 1فاراد

النانوفاراد (nF) = 10^{-9} × 1 فاراد

البيكوفاراد (pF) = 10^{-12} × 1 فاراد

٤ الطاقة المخزونة في المواسع

يخزن المواسع الطاقة الكهربائية على شكل مجال كهربائي، تتجه خطوطه من اللوح الموجب إلى اللوح السالب. وتتناسب الطاقة المخزونة في المواسع طردياً مع حاصل ضرب قيمة السعة ومربع قيمة فرق الجهد بين طرفي المواسع، وتعطى بالمعادلة التالية:

$$E = 0.5\,CV^2$$

حيث إن:

E= قيمة الطاقة مقاسة بالجول.

C= السعة مقاسة بالفاراد.

V= الجهد بين طرفي المواسع.

٥ انواع المواسعات

يمكن تقسيم المواسعات إلى قسمين أساسيين:

- أ المواسعات ثابتة القيمة.
- ب المواسعات متغيرة القيمة.

أ المواسعات ثابتة القيمة:

المواسع الثابت القيمة هو المواسع المحدد السعة من قبل الشركة الصانعة، حيث يسجل على جسمه مقدار سعته، ومقدار فرق الجهد المسموح أن يطبق على طرفيه. ويبين الشكل (٤) بعض الأشكال الشائعة للمواسعات ثابتة القيمة المستخدمة في الدارات الإلكترونية.



الشكل (٤): مواسعات ورقية

ومن أنواع المواسعات ثابتة القيمة تبعاً لنوع المادة العازلة:

١ **المواسع الورقي:** ويتكون من طبقتين من الألومنيوم بينهما طبقة رقيقة من الورق المشبع بالشمع أو بالزيت، وتُلفّ المجموعة معاً، ثم تغلف بمادة كيميائية، أو تحفظ

في وعاء معدني صغير محكم الإغلاق أو في إناء معدني مملوء بالزيت، وذلك من أجل زيادة خاصية العزل في الورق، والمساعدة على حفظ المواسع من السخونة الزائدة. تتروح سعة المواسعات الورقية بين 3000 بيكوفاراد و 4 ميكروفاراد وفولتات تشغيلها نادراً ما تتعدى 600 فولت. وتستخدم المواسعات الورقية كمواسعات تشغيل في المحركات ذات المواسع.

٢ **المواسعات البلاستيكية**: تستخدم هذه الأنواع أغشية من مادة بلاستيكية عوضاً عن صفائح الورق. ومن بعض أنواع المواد البلاستيكية العازلة الشائعة: البوليسترين، والبوليستر، والبوليكربونات، والبوليبروبلين.



شكل (٥) مواسعات بلاستيكية

٣ **مواسع الميكا**: يُتكون من شرائح رقيقة من الميكا كوسط عازل بين ألواح معدنية، وقد تطلى شرائح الميكا ذاتها بطبقة رقيقة من الفضة لتحل محل الألواح المعدنية. ويسمى المواسع في هذه الحالة مواسع الميكا الفضي، ويغلف بطبقة عازلة يبرز منها طرفا التوصيل.

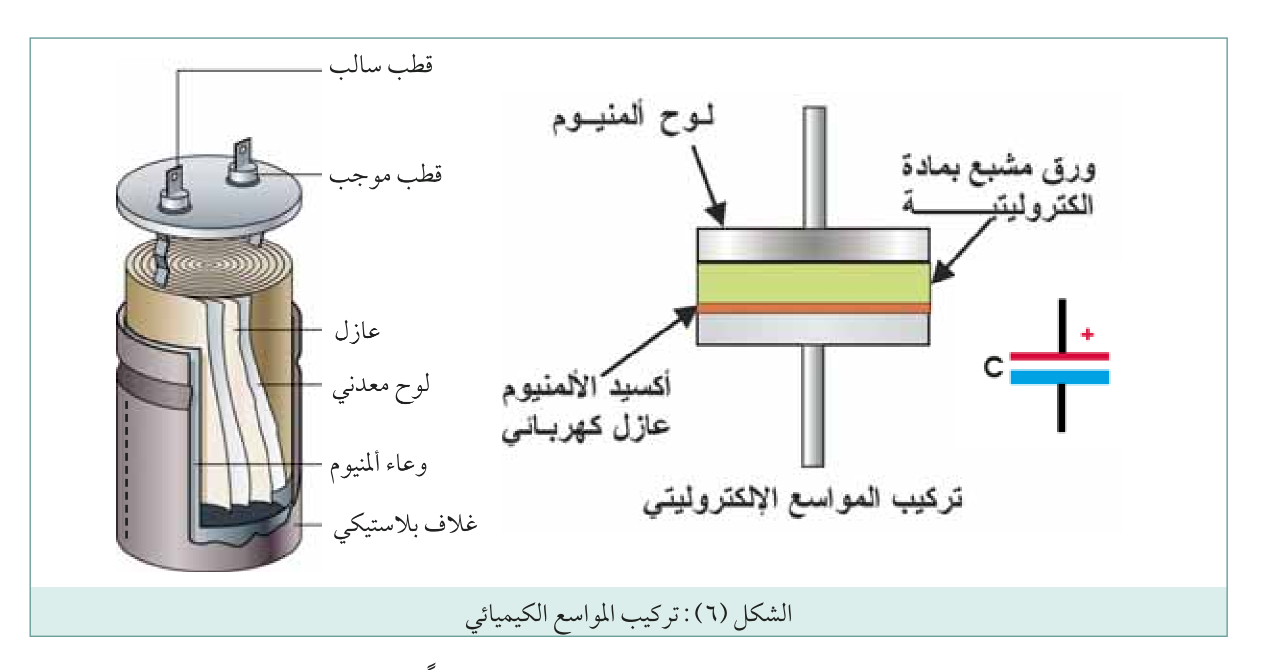
٤ **مواسع السيراميك**: يتكون هذا النوع من لوح من السيراميك يغطي وجهيه طبقتان معدنيتان هما لوحا المواسع.

٥ **المواسعات الكيميائية (الإلكتروليتية)**: من مميزات هذه المواسعات سعتها الكبيرة وحجمها الصغير. ويبين الشكل (٦) بأن هذا النوع من المواسعات يتركب من عدة طبقات هي: لوح من الألومنيوم (سفلي)، وطبقة عازلة من أكسيد الألومنيوم، وطبقة من الورق مشبعة بمادة كيميائية مناسبة مثل بلورات الأمونيوم، ولوح من الألومنيوم (علوي). فعند توصيل المواسع مع جهد تغذية مستمر، يشكل اللوح السفلي القطب الموجب للمواسع، ويصبح أكسيد الألمنيوم المترسب عليه هو الوسط العازل كونه عازلاً جيداً، بينما تشكل طبقة الورق واللوح العلوي القطب السالب للمواسع.

يبين الشكل (٦) كيفية الاستدلال على القطب الموجب للمواسع الكيميائي. فعند وصل هذا النوع من المواسعات في الدارات الإلكترونية، يوصل الطرف الموجب مع نقطة الجهد الأكثر إيجابية. والجدير ذكره أن عكس قطبية المواسع الكيميائي تؤدي إلى انفجاره وتلفه، كما لا يمكن استخدام المواسعات الكيميائية المستقطبة في دارات التيار المتردد.

تصنع المواسعات الكيميائية غير المستقطبة بترسيب طبقات الأكسيد فوق سطحي لوحي المواسع. ويمكن استخدام هذه المواسعات مع مصادر الجهد المستمر أو الجهد المتردد.

من مساوئ المواسعات الكيميائية وجود تسرب عالٍ بين قطبيها، وتلفها عند تخزينها لفترات طويلة نتيجة لجفاف العازل وتلفه.



الشكل (٦): تركيب المواسع الكيميائي

٦ **مواسعات التنتاليوم الإلكتروليتية**: يمكن استخدام التنتاليوم بدلاً من الألومنيوم، ويسمى المواسع في هذه الحالة مواسع التنتاليوم، وهي أكثر تكلفة من مواسعات الألومنيوم الإلكتروليتية، إلا أنها تمتاز على نظيراتها من مواسعات الألومنيوم بصغر حجمها، وثبات سعتها مع تغيرات درجة الحرارة، وطول فترة صلاحيتها عند التخزين.

ب المواسعات المتغيرة القيمة (Variable capacitors):

يتكون هذا النوع من المواسعات من صفائح متوازية من الألومنيوم أو النحاس، على شكل دائري أو بيضاوي، مثبتة على محور قابل للدوران، بطريقة تسمح لهذه الصفائح بالتداخل مع مجموعة من صفائح أخرى، مساوية لها في المساحة، وتكون المادة العازلة في هذا النوع من المواسعات هي الهواء كما مبين في الشكل (٧). وتستخدم هذه المواسعات غالباً في أجهزة الراديو، ويمكن الحصول على سعات مختلفة منها حسب وضع الألواح وتداخلها بعضها مع بعض، فعندما تتداخل الصفائح الدوّارة كلياً مع الصفائح الثابتة، تكون سعة المواسع عند قيمتها العظمى، أما عندما تدور الصفائح إلى الوضع المفتوح كلياً، فتكون السعة عند قيمتها الصغرى.



الشكل (٧): مواسعات متغيرة ورمزها

هناك نوع خاص من المواسعات المتغيرة يعرف باسم مواسع الضبط الدقيق (Trimmer Capacitor). ويستخدم

عندما تكون الحاجة هي إحداث تغييرات طفيفة في السعة بغرض ضبط القيمة المطلوبة . ويتم ذلك عادة عن طريق تغير المسافة بين اللوحين بواسطة برغي الضبط .

٦ المواصفات الفنية للمواسعات

للمواسعات خصائص فنية معينة يتم بموجبها اختيار المواسع الملائم للاستعمال المطلوب ، وأهم هذه الخصائص :

أ السعة:

وهي القيمة الاسمية للمواسع المعبر عنها بالميكروفاراد ، أو النانوفاراد ، أو البيكوفاراد مكتوبة على جسم المواسع .

ب الفولتية التشغيلية المقررة:

هي الفولتية القصوى المسموح تسليطها باستمرار على المواسع . إن تجاوز هذه القيمة يؤدي إلى انهيار الطبقة العازلة الموجودة بين لوحي المواسع ، مما يؤدي إلى تلفه . وتتناسب هذه القيمة طردياً مع سمك طبقة العازل . ويتم التعبير عن الفولتية التشغيلية المقررة بالنسبة للجهد المستمر والمتردد من خلال تسجيل قيمتها على جسم المواسع .

جـ التفاوت أو (الدقة):

هو الانحراف الأقصى المسموح به عن القيمة الاسمية (ويعبر عنه بالنسبة المئوية) .

د معامل درجة الحرارة:

وهو تغير مقدار سعة المواسع مع تغير درجة الحرارة درجة مئوية واحدة .

هـ التيار المتسرب:

وهو التيار المستمر الساري في العازل الكهربائي عند تسليط الفولتية التشغيلية المقررة (يعبر عنه عند درجة حرارة معينة) .

و مقاومة العزل:

هي مقاومة العزل الكهربائي عند تسليط الفولتية التشغيلية المقررة (يعبر عنه عند درجة حرارة معينة) .

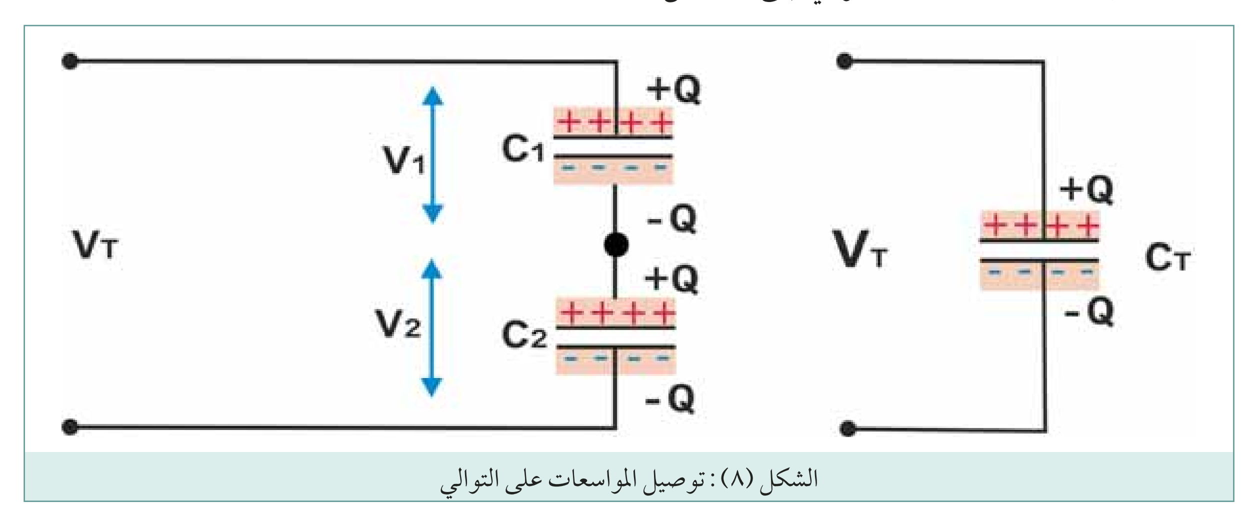
ز الاستقرار:

هو تغير قيمة سعة المواسع(بالنسبة المئوية) الذي يحصل في ظروف محددة ، وعلى مدة معينة من الزمن .

٧ توصيل المواسعات:

توصل المواسعات كما المقاومات على التوالي أو على التوازي، كما يلي:

١ توصيل المواسعات على التوالي: وصل مواسعين على التوالي يكافئ مضاعفة سماكة العازل. وهذا يعني أن المواسعين الموصولين على التوالي يعملان كمواسع واحد فيه سماكة العازل تكافئ مجموع سماكتي العازل في المواسعين. وبما أن السعة تتناسب تناسباً عكسياً مع المسافة الفاصلة بين اللوحين، فإن زيادة سماكة العازل تؤدي إلى تخفيض قيمة السعة الكلية.



الشكل (٨): توصيل المواسعات على التوالي

إذا وصّل مواسعان على التوالي كما هو مبين في الشكل(٨)، تكون الشحنة الكهربائية على المواسعين متساوية. أما فرق الجهد الكلي(V_T) فيساوي مجموع فروق الجهد بين لوحي المكثفين، أي:

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$\frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

وبمعنى آخر، في حالة التوصيل على التوالي لعدة مواسعات، فإن مقلوب السعة المكافئة الناتجة يساوي مقلوب كل من السعات المختلفة للمواسعات المنفردة. وتكون السعة المكافئة أقل من سعة أصغر مواسع في المجموعة.

إذا وصل عدد n من المواسعات على التوالي، فإن مقلوب قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n}$$

وتلاحظ أن لهذه المعادلة الشكل ذاته الذي كان لمعادلة حساب المقاومات على التوازي.

مـــثـــــال ١

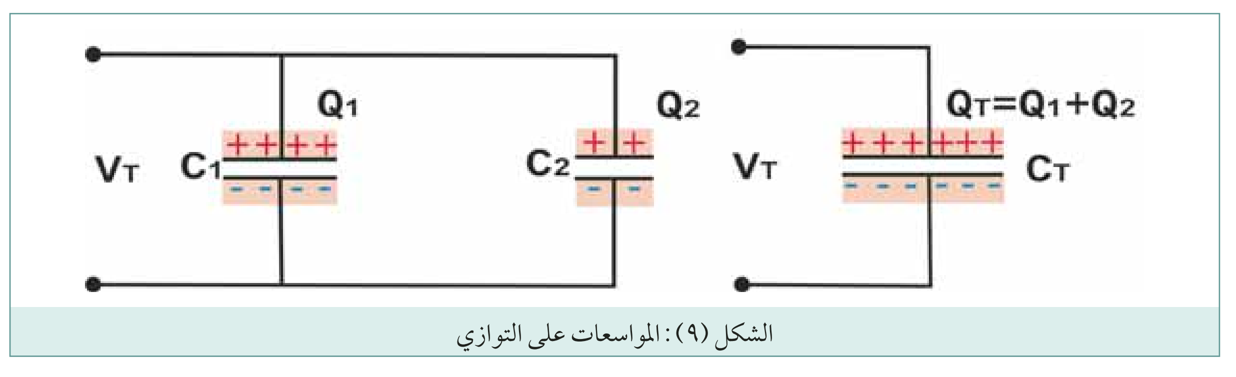
ثلاثة مواسعات : $(C_1=4\mu F)$ ، و $(C_2=3\mu F)$ ، و $(C_3 = 2\ \mu F)$ ، موصولة على التوالي . والمطلوب حساب السعة الكلية لهذه المجموعة .

الحـــــــل

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} = \frac{13}{12} = 0.92\ \mu F$$

٢ **توصيل المواسعات على التوازي** : توصيل مواسعين على التوازي يكافئ مضاعفة مساحة لوح المواسع . وهذا يعني أن المواسعين الموصولين على التوازي يعملان كمواسع واحد فيه مساحة لوحة تكافئ مجموع مساحتي لوحي المواسعين . وبما أن السعة تتناسب تناسباً طردياً مع مساحة لوح المواسع ، فإن زيادة مساحة لوح المواسع يؤدي إلى زيادة السعة الكلية .



الشكل (٩) : المواسعات على التوازي

إذا وصّل مواسعان على التوازي كما هو مبين في الشكل(١١) ، في هذه الحالة يكون فرق الجهد بين طرفي كل منهما مساوياً لجهد المصدر (V_T) ، أما الشحنة الكهربائية الكلية فتكون مساوية لمجموع شحنتي المواسعين ، أي :

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$C_TV_T = C_1V_T + C_2V_T$$

$$C_T = C_1 + C_2$$

وبمعنى آخر ، في حالة التوصيل على التوالي لعدة مواسعات ، فإن السعة المكافئة الناتجة تساوي المجموع الجبري لسعات المواسعات المفردة . إذا وصل عدد n من المواسعات على التوازي ، فإن قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة :

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n$$

وتلاحظ أن قيم سعات المواسعات الموصولة على التوازي، تجمع مثل جمع قيم المقاومات الموصولة على التوالي. كما أن المواسعات الموصولة على التوازي يطبق عليها قيمة الجهد نفسة.

مثال ٢

ثلاثة مواسعات سعة كل منها (٥) ميكروفاراد موصولة على التوازي. احسب السعة الكلية للمجموعة.

الحل

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

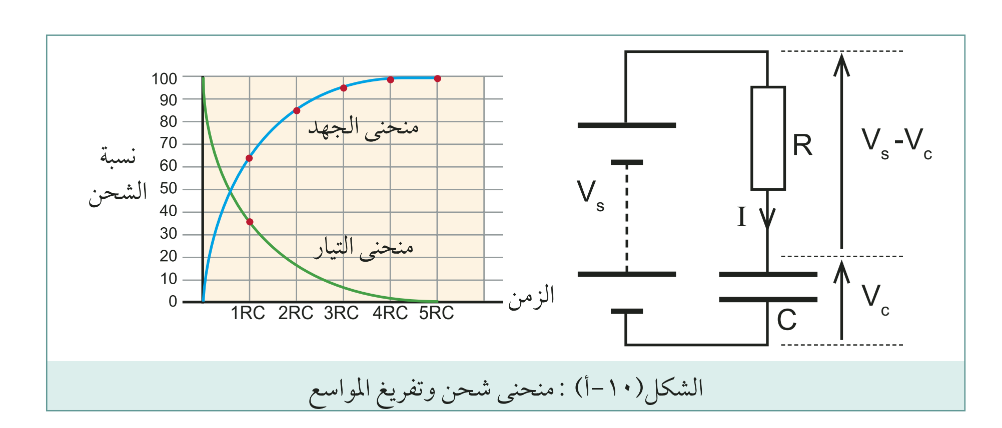
$$C_T = 5 + 5 + 5 = 15\mu F$$

٦ الثابت الزمني للشحن:

بوجه عام، تمثل الدارات الكهربائية المكونة من مواسعات ومقاومات، والتي تعرف باسم داراتRC الأساس بالنسبة للعديد من دارات التوقيت، ودارات تشكيل النبضات، ودارات إنتاج الموجات الإلكترونية (المذبذبات). وسنتناول فيما يأتي عملية شحن وتفريغ مواسع خلال مقاومة.

أ عملية الشحن

يشحن المواسع عادة بوساطة مصدر كهربائي خلال مقاومة، كما في الشكل (١٢)، فعند إغلاق المفتاح يبدأ المواسع الشحن من المصدر الكهربائي، ويمر في الدارة تيار كبير نسبياً لا يلبث أن يتناقص حتى يصبح صفراً تقريباً عند انتهاء الشحن. ويكون فرق الجهد بين طرفي المواسع عند بدء الشحن صفراً، ثم يتزايد تدريجياً حتى يصبح مساوياً تقريباً لجهد المصدر الكهربائي عند نهاية الشحن.



الشكل(١٠-أ) : منحنى شحن وتفريغ المواسع

ب الثابت الزمني للشحن:

يعرف الزمن اللازم لشحن المواسع إلى أن يصل فرق الجهد بين طرفية إلى 63.2% من قيمة فولتية المصدر

بالثابت الزمني لشحن المواسع، وتعطى قيمته بالمعادلة الآتية:

$$\tau = RC$$

حيث إن:

τ =	الثابت الزمني بالثانية
R =	المقاومة بالأوم
C =	سعة المواسع بالفاراد

يبين الشكل(١٣أ-ب) منحنى شحن المواسع، حيث تصل الفولتية بين طرفي المواسع إلى 63.2% من قيمة فولتية المصدر في فترة زمنية مساوية لقيمة الثابت الزمني، وفي نهاية الفترة الزمنية التالية لقيمة الثابت الزمني (أي بعد زمن منقض يساوي (2RC) سوف تزيد قيمة الفولتية بين طرفي المواسع بنسبة تصل إلى 63.2% من الجزء المتبقي وهكذا. من الناحية النظرية، لن يتم شحن المواسع كاملاً أبداً. ولكن بعد مرور فترة زمنية تساوي (5) أضعاف الثابت الزمني للشحن (5RC)تصل الفولتية بين طرفي المواسع إلى 99.3% من قيمة فولتية المصدر، مما يمكننا من اعتبار المواسع مشحوناً بأكمله.

أما بالنسبة لتيار شحن المواسع فيكون كبيراً نسبياً عند بدء عملية الشحن، ثم يأخذ بالتناقص تدريجياً، حتى يصبح صفراً تقريباً عند انتهاء الشحن. سوف يقل التيار بنسبة تصل إلى 37% من التيار المبدئي في فترة زمنية مساوية لقيمة الثابت الزمني. وفي نهاية الفترة الزمنية التالية لقيمة الثابت الزمني أي بعد زمن منقض يساوي (2RC) سوف يقل التيار بنسبة تصل إلى 37% أخرى من الجزء المتبقي، وهكذا.

مثال ٣

في الشكل (١٠)، افرض أن سعة المواسع (٢)ميكروفاراد، وأن قيمة المقاومة (200)كيلو أوم. احسب الثابت الزمني لشحن المواسع والزمن اللازم لشحن المواسع بصورة كاملة.

الحل

$$\tau = RC$$

$$\tau = 200 \times 10^{+3} \times 2 \times 10^{-6}$$

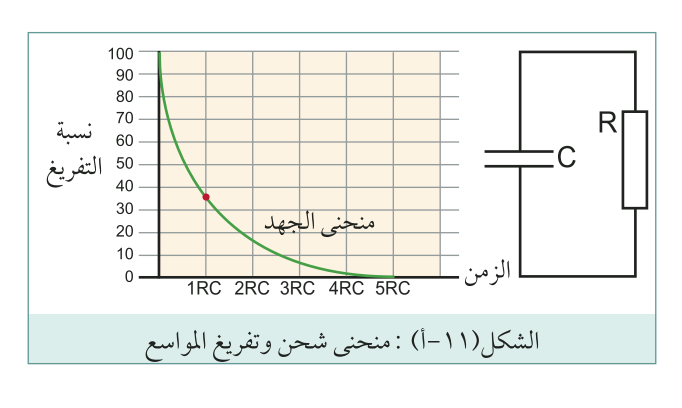
$$\tau = 0.4\ S$$

زمن الشحن = الثابت الزمني × 5= 0.4× 5 = 2 ميلي ثانية

ج عملية التفريغ

بعد أن تعرفنا على كيفية شحن المواسعات، لنتعرف الآن على ما يحدث عند تفريغ الشحنة من مواسع سبق

شحنه . عندما يتم توصيل مواسع تام الشحن بين طرفي مقاومة يبدأ المواسع بتفريغ شحنته خلال المقاومة. ويأخذ فرق الجهد بين طرفي المواسع بالتناقص تدريجياً وفق منحنى أسي كما هو مبين في الشكل(١١). حيث تصل الفولتية بين طرفي المواسع إلى 36.8% (تقريباً 37%)من قيمة الجهد المبدئي في فترة زمنية مساوية لقيمة الثابت الزمني، وفي نهاية الفترة الزمنية التالية لقيمة الثابت الزمني (أي بعد زمن يساوي 2RC) سوف تقل قيمة الجهد بين طرفي المواسع بنسبة تصل إلى 37% من الجزء المتبقي وهكذا. من الناحية النظرية، لن يتم تفريغ المواسع بشكل تام أبداً. ولكن بعد مرور فترة زمنية تساوي (5) أضعاف الثابت الزمني للشحن(5RC) يصل الجهد بين طرفي المواسع إلى 1% من قيمة الجهد المبدئي ، مما يمكننا من اعتبار المواسع مفرغاً بشكل تام.



الشكل(١١-أ) : منحنى شحن وتفريغ المواسع

٧ ترميز المواسعات

تطبع على جسم المواسع المواصفات الفنية له مثل: السعة، وجهد التشغيل، وقيمة السماح في سعته(الدقة)، ودرجة حرارة التشغيل القصوى. ويتم اتباع عدة طرق لكتابة هذه المواصفات على جسم المواسع منها ما هو رقمي، يستخدم فيه الأرقام والحروف، ومنها ما هو لوني.

معظم المواسعات تكون معلوماته مطبوعة عليه. هذه القيم تشمل السعة والجهد الذي يعمل عنده المواسع وكذلك دقة السعة.



الشكل (١٢): ترميز المواسعات

السعة: تكون السعة دائماً بالميكروفاراد، إلا إذا وجد الرمز n ، فهذا يعني أن السعة بالنانوفاراد.

الجهد: يعطى كرقم يتبعه الحرف V ، وفي كثير من الأحيان لا يكتب الحرف V .

الدقة: يتم تحديد قيمة الدقة(التفاوت) في سعة المواسع بوساطة الحروف المبينة في الجدول.

الأمثلة على ما ذكر موضحة بالشكل التالي:

لاحظ أن المواسع يكون موسوماً من اليسار إلى اليمين، برمز مكون من ثلاثة أرقام، ثم حرف، وبعد ذلك رقمين أو ثلاثة، وتفسير هذه الرموز هو الآتي:

- أول رقمين من اليسار هي السعة بالبيكوفاراد. الرقم الثالث هو معامل الضرب فإذا كان مثلا 2 فذلك يعني أن السعة مضروبة في 100 وإذا كان 3 فيعني أن السعة مضروبة في 1000، وهكذا.

التفاوت	الحرف
1%	F
2%	G
5%	J
10%	K
20%	M
30%	N

- الحرف الذي يتبع الأرقام يحدد الدقة . فالحرف K يعني 10% أما الحرف M فيعني 20%
- الرقمان أو الثلاثة أرقام التي تتبع الحرف تحدد الجهد الذي يعمل عنده المواسع .

مثال ٤

مواسع مؤشر بالرمز التالي : 474K63 فماذا يعني ذلك ؟

الحل



هنا الرقم الثالث هو 4 فيكون معامل الضرب 10000 أي أن سعة المواسع هي :
470000 = 10000 x 47 بيكوفاراد (هذا يساوي 0.47 ميكروفاراد) .
الحرف الذي بعد الأرقام الثلاثة هو K أي أن دقة السعة هي 10 % .
الرقمان 63 بعد الحرف K يحددان الجهد وفي هذا المثال الجهد = 63 فولت ، نجد أن أول رقمين من اليسار 47 أي 47 بيكوفاراد .

٨ أعطال المواسعات

قد تتعرض المواسعات المستخدمة في الدارات الكهربائية والإلكترونية إلى أحد أنماط الأعطال الآتية :

أ دارة القصر (شورت):

ينتج هذا العطل من اتصال لوحي المواسع معاً نتيجة انهيار العازل الذي قد ينتج بدوره من تعريض المواسع لفولتية أعلى من فولتية الانهيار له ، أو تشغيله في ظروف ترتفع فيها درجة حرارته عن الحد المسموح به . وهذا العطل من أكثر أعطال المواسعات شيوعاً ، حيث يعطي المواسع عند قياس مقاومته مقاومة منخفضة جداً قد تصل إلى (صفر) .

ب المواسع يتصرف كأنه مقاومة:

يعطي مقاومة ثابتة عند قياس مقاومته . وينتج هذا العطل عادة عندما يفقد الوسط العازل لخصائصه ، فيتصرف وكأنه مقاومة .

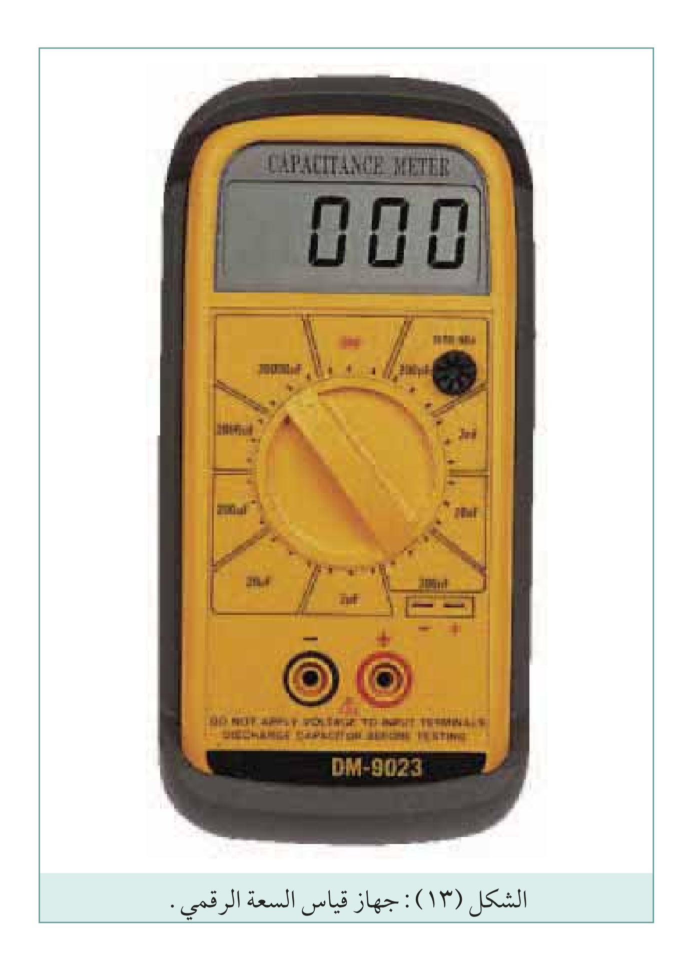
جـ دارة مفتوحة:

ينتج هذا العطل عادة من انفصال أحد أطرافه أو انفجاره ، كما يحدث للمواسع الكيميائي .

د تغير السعة:

يعطي المواسع في هذه الحالة سعة أكبر من سعته المقررة أو أقل بشكل ملحوظ، وينتج ذلك عن اختلاف ظروف التشغيل عن الظروف الصحيحة. ولا يمكن اكتشاف هذا العطل بقياس مقاومة المواسع، ولا بد في هذه الحالة من استخدام جهاز قياس السعة لقياس سعة المواسع، ومقارنة قراءة الجهاز بالقيمة المسجلة على جسم المواسع. والجدير ذكره أن أجهزة قياس السعة الرقمية أصبحت متوفرة في الأسواق.

ويمكن استخدام الأوميتر لفحص المواسع بشكل مبدئي للمواسعات التي تزيد سعتها عن 1μF مقاومة منخفضة في البداية، ثم تبدأ قيمتها بالارتفاع بشكل تدريجي حتى تثبت عند قيمة عالية جداً، وذلك ناتج من عملية شحن المواسع من بطارية جهاز الأوميتر. ويجب الانتباه لوصل المواسع بجهاز الأوميتر بالقطبية الصحيحة للحصول على النتائج الصحيحة.



الشكل (١٣): جهاز قياس السعة الرقمي.

أسئلة

١ أكمل الجمل التالية :

أ المواسعات عناصر كهربائية لديها : ....

ب يتكون المواسع في أبسط أشكاله من : ....

ج المواد العازلة المستخدمة كعازل كهربائي في المواسعات هي :

١ .... ٢ .... ٣ .... ٤ ....

٥ .... ٦ ....

د السعة الكهربائية : ....

هـ وحدة قياس السعة الكهربائية هي : .... ولكنها وحدة كبيرة جداً، لذلك تستخدم في التطبيقات العملية وحدات قياس السعة التالية :

١ .... ورمزها : ....

٢ .... ورمزها : ....

٣ .... ورمزها : ....

و تتعين سعة أي مواسع بثلاثة عوامل هي : .... ، .... ،.. ....

ز سعة المواسع تتناسب عكسياً مع : .... ، وطردياً مع : .... و.......................

ح يتكون المواسع الورقي من : ....

ط الثابت الزمني لشحن المواسع هو الزمن اللازم لِـ: ....

٢ ارسم رسماً تخطيطياً يوضح التركيب العام للمواسع .

٣ ارسم رسماً تخطيطياً يوضح تركيب المواسع الإلكتروليتي .

٤ ارسم رموز المواسعات التالية : مواسع (رمز عام)، والمواسع الإلكتروليتي المستقطب، ومواسع متغير (رمز عام) .

٥ اذكر أهم المواصفات الفنية للمواسع ، وعرف كلاً منها .

٦ احسب السعة الكلية الناتجة من وصل مواسعين، سعة الأول (4) ميكروفاراد، وسعة الثاني (6)

ميكروفاراد إذا وصلا على التوالي، ومن ثم على التوازي.

٧ احسب الثابت الزمني لشحن مواسع سعته (7.4) ميكروفاراد، يشحن عبر مقاومة (2000)أوم، واحسب الزمن اللازم لشحنه بصورة كاملة.

٨ اذكر قراءة جهاز الأوميتر المتوقع الحصول عليها عند قياس مقاومة المواسعات التالية:

أ مواسع خال من الأعطال قيمته (4.0) ميكروفاراد: ....

ب مواسع الإلكتروليتي أو ورقي خال من الأعطال قيمته (6) ميكروفاراد.

ج مواسع تعرض لفولتية أعلى من فولتية الانهيار له، مما أدى إلى انهيار العازل واتصال لوحيه

....

د مواسع ورقي قيمته (٤) ميكروفاراد، وأحد أطرافه مفصول عن لوح المواسع داخل جسم المواسع

....

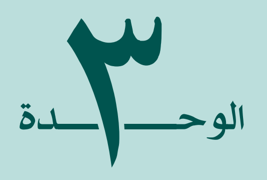
....

٩ اكتب قيمة السعة ونسبة التفاوت للمواسعات التالية:

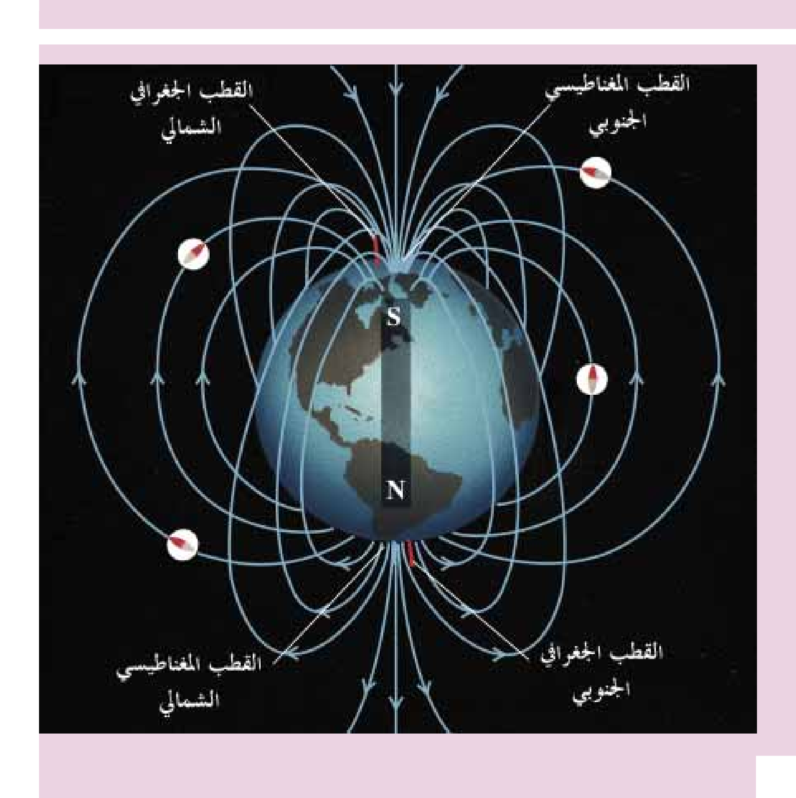
أ مواسع مكتوب على جسمه (2n2k) ....

ب مواسع مكتوب على جسمه (22M1KV) ....

ج مواسع مكتوب على جسمه (104) ....



دارات التيار المتناوب



الـــــدرس ١

الكهرومغناطيسية

يبحث موضوع الكهرومغناطيسية في المجالات والقوى المغناطيسية الناتجة عن التيار الكهربائي وخواصها واستعمالاتها. وحيث أن الكثير من الأجهزة والأدوات التي تستخدم يومياً تعمل بنظرية الكهرومغناطيسية، كالمحركات والمولدات والمحولات، فلا بد من تذكر المبادئ الأساسية للمغناطيسية.

١ المبادئ الأساسية للمغناطيسية:

أ المواد المغناطيسية:

هي المواد التي تتأثر بقوة جذب المغناطيس، مثل الحديد، والفولاذ والنيكل، والكوبالت، والسبائك المكونة منها.

ب المواد غير المغناطيسية:

هي المواد التي لا تتأثر بقوة جذب المغناطيس، مثل النحاس، والألمنيوم، والخشب، والزجاج.

جـ المغناطيس الطبيعي:

هو أحد خامات الحديد الموجودة في الطبيعة، وهو المبين في الشكل (١). وقد اكتشف الإغريق القدماء المغناطيس، بالقرب من مدينة مغنيسيا في آسيا الصغرى.



الشكل (١): المغناطيس الطبيعي

د المغناطيس الصناعي:

يصنع من أحد المواد المغناطيسية المعروفة أو من سبائكها، وتجري عليها عملية المغنطة بأحد الطرق الآتية:

١ المغنطة بالدلك:

بدلك قضيب من مادة مغناطيسية بمغناطيس آخر.

٢ المغنطة بالتأثير:

بوضع المادة المغناطيسية بالقرب من مغناطيس آخر.

٣ المغنطة بالكهرباء:

بتمرير تيار كهربائي في موصل ملفوف حول قلب من مادة مغناطيسية . وهذه الطريقة هي الأكثر شيوعاً في الحياة العملية .

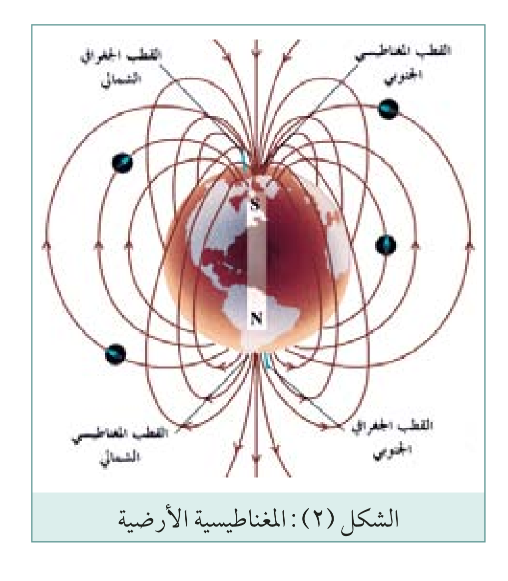
تستخدم سبائك الفولاذ التي تحتوي على نسبة من النيكل والكوبالت، في صناعة المغناطيس الدائم . أما الحديد العادي، فيمكن مغنطته بسهولة، ولكنه يفقدها بسهولة أيضاً .

هـ أقطاب المغناطيس:

أن لكل مغناطيس قطبين مغناطيسيين : قطب شمالي يرمز له بالحرف (N)، وقطب جنوبي يرمز له بالحرف (S) . وتتمركز قوة المغناطيس عند قطبيه، وتضعف كلما اتجهت نحو منتصفه . وقد دلت التجارب العملية أن الأقطاب المتشابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب .

و المغناطيسية الأرضية:

الكرة الأرضية هي عبارة عن مغناطيس ضخم يميل محوره على محور دوران الأرض بزاوية مقدارها 11° ويقع قطبه الشمالي(N) بالقرب من القطب الجنوبي الجغرافي للكرة الأرضية، كما يقع قطبه الجنوبي (S) بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي للكرة الأرضية كما هو موضح في الشكل (٢) . ويقول العلماء أن المجال المغناطيسي للأرض يعود إلى دوران الأرض حول نفسها وسريان تيارات كهربائية في قلب الأرض المعدني المنصهر .

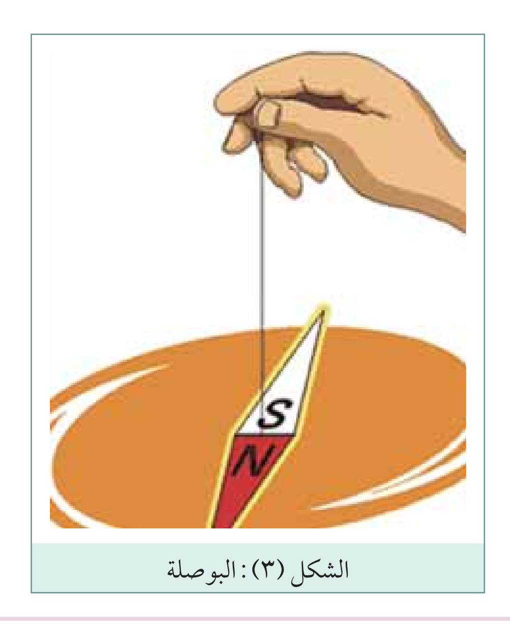


الشكل (٢) : المغناطيسية الأرضية

ز البوصلة:

إذا علق قضيب مغناطيسي وترك ليتحرك أفقياً، فإنه يتجه شمالاً وجنوباً باتجاه محور الأرض تقريباً. واعتماداً على هذه الحقيقة استعملت البوصلة في تعين الاتجاهات .

البوصلة الحديثة وهي عبارة عن قطعة رفيعة من الفولاذ المغنط، متمركزة على محور صغير بحيث تكون حرة الحركة أفقياً، وهي تشير دوماً إلى الأقطاب الأرضية المغناطيسية .



الشكل (٣) : البوصلة

ح المجال المغناطيسي:

المجال أو الحقل المغناطيسي هو المنطقة المحيطة بالمغناطيس التي تظهر فيها الآثار المغناطيسية.

ط خطوط القوى المغناطيسية:

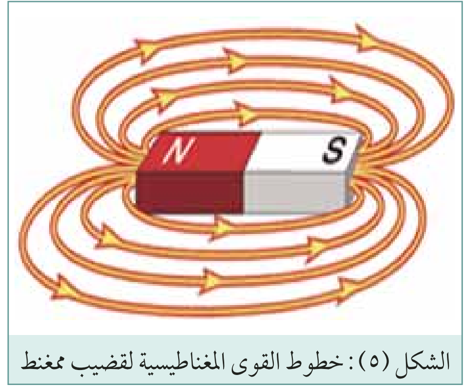


الشكل (٤): المجال المغناطيسي

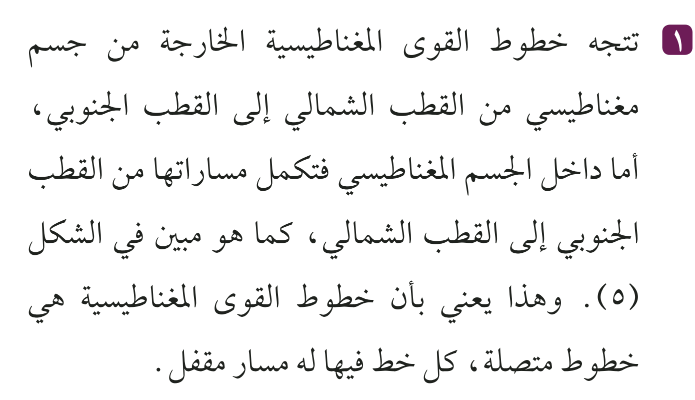
يتمثل المجال المغناطيسي بخطوط القوى المغناطيسية، وهي خطوط وهمية تبين المسار الذي يتخذه قطب شمالي صغير فيما لو ترك حر الحركة في منطقة الحقل المغناطيسي للمغناطيس.

إن خطوط القوى المغناطيسية التي تشكل المجال أو الحقل المغناطيسي لا يمكن رؤيتها، ولكن إذا تم وضع مغناطيس تحت قطعة من الكرتون أو الزجاج، ونثرت برادة حديد فوقها، كما هو موضح في الشكل (٤)، تتوجه برادة الحديد بحسب خطوط القوى المغناطيسية، وعند ذلك يمكنك أن ترى خطوط القوى المغناطيسية.

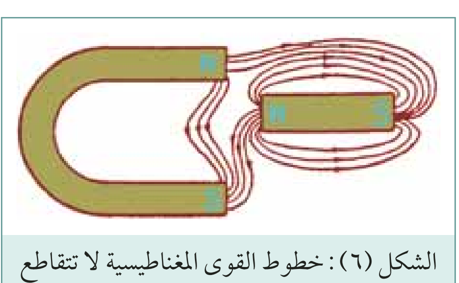
ي مميزات خطوط القوى المغناطيسية:



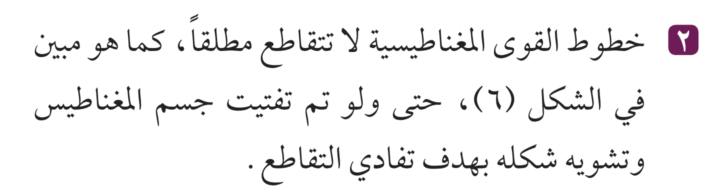
الشكل (٥): خطوط القوى المغناطيسية لقضيب ممغنط



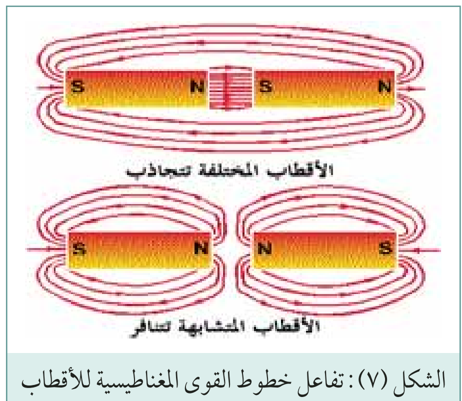
١ تتجه خطوط القوى المغناطيسية الخارجة من جسم مغناطيسي من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، أما داخل الجسم المغناطيسي فتكمل مساراتها من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي، كما هو مبين في الشكل (٥). وهذا يعني بأن خطوط القوى المغناطيسية هي خطوط متصلة، كل خط فيها له مسار مقفل.



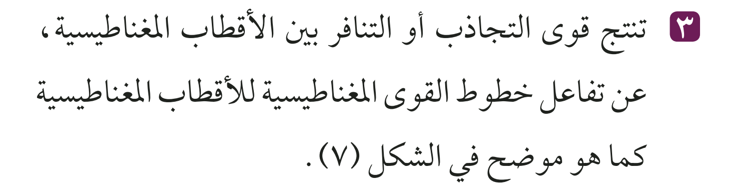
الشكل (٦): خطوط القوى المغناطيسية لا تتقاطع



٢ خطوط القوى المغناطيسية لا تتقاطع مطلقاً، كما هو مبين في الشكل (٦)، حتى ولو تم تفتيت جسم المغناطيس وتشويه شكله بهدف تفادي التقاطع.



الشكل (٧): تفاعل خطوط القوى المغناطيسية للأقطاب



٣ تنتج قوى التجاذب أو التنافر بين الأقطاب المغناطيسية، عن تفاعل خطوط القوى المغناطيسية للأقطاب المغناطيسية كما هو موضح في الشكل (٧).

ك الكثافة المغناطيسية:

الكثافة المغناطيسية تعبر عن شدة أو قوة المجال المغناطيسي عند نقطة ما في مجال مغناطيسي. وهي عدد خطوط القوى المغناطيسية المتدفقة عبر وحدة المساحة (المتر المربع)، ويرمز لها بالحرف (B) وتقاس بوحدة تسمى تسلا (Tesla).

أما المجموع الكلي لخطوط المجال المغناطيسي في قطعة حديد ممغنطة مثلاً، يسمى الفيض المغناطيسي (FLUX) ويرمز له بالحرف (Φ) ويقاس بوحدة الويبر (Weber). وهو حاصل ضرب الكثافة المغناطيسية (B) بمساحة السطح (A) الذي يغطيها الفيض المغناطيسي بشكل عمودي عليها:

$$\Phi = B \times A$$

أما الكثافة المغناطيسية، فتعادل حاصل قسمة الفيض المغناطيسي الكلي على مساحة المجال:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

وحدة الكثافة المغناطيسية هي ويبر/ متر مربع وتعرف بالتسلا.

مثال ١

مجال مغناطيسي في الفراغ كثافته 2.5 ملي تسلا، ويغطي مساحة 20 سم^2. أوجد قيمة الفيض المغناطيسي الكلي.

الحل

B = 2.5 ملي تسلا = 2.5×10^{-3} تسلا

$$A = 20cm^2 = \frac{20}{10000} = 20\times10^{-4}m$$

$$? = \Phi$$

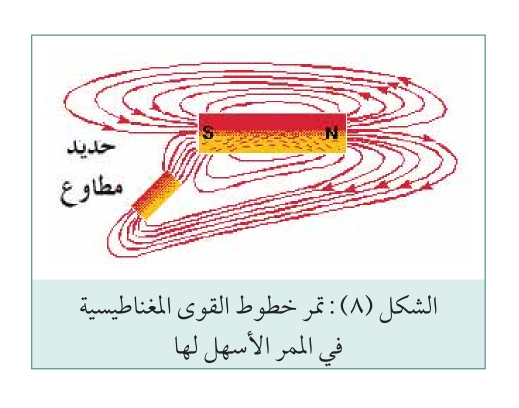
$$\Phi = B\,A$$

$$\Phi = 2.5 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-4}$$

$$\Phi = 50 \times 10^{-7} = 5 \times 10^{-6}$$

$$\Phi = 5\mu Wb$$

ل_ الإنفاذية المغناطيسية (Permeability):



الشكل (٨): تمر خطوط القوى المغناطيسية في الممر الأسهل لها

وهي تعبر عن قدرة المادة على تمرير وتركيز خطوط القوى المغناطيسية. وللمواد المغناطيسية كالحديد والفولاذ معامل إنفاذية مرتفع، أي أن معارضتها لخطوط القوى المغناطيسية منخفضة. أما المواد غير المغناطيسية كالهواء والبلاستيك، فلها معامل إنفاذية مغناطيسية منخفض، أي إن معارضتها لخطوط القوى المغناطيسية مرتفع. فللهواء مثلاً معامل إنفاذية يساوي (12.57×10^{-7} هنري/ متر)، بينما معامل إنفاذية حديد المحولات (2400 هنري/ متر) أو أكثر.

من خصائص خطوط القوى المغناطيسية، أنها تفضل المرور في المسار الأسهل لها، فإذا وضعت قطعة حديد في الحقل المغناطيسي لمغناطيس، كما هو مبين في الشكل (٨)، فإن خطوط القوى المغناطيسية تتجمع وتتجه عبر قطعة الحديد، لأن الحديد يشكل لها ممراً أسهل من الهواء.

يرمز لمعامل إنفاذية الحيز الفارغ بالرمز (μ_0) وقيمته $4^{\pi} \times 10^{-7}$ أو 12.57×10^{-7}هنري/ متر. ويساوي معامل الإنفاذية المطلقة للمادة الممغنطة (μ)حاصل ضرب معامل إنفاذية الحيز الفارغ (μ_0) ومعامل الإنفاذية النسبية للوسط المغناطيسي(μ_r)، أي:

$$\mu=\mu_r\times\mu_0$$

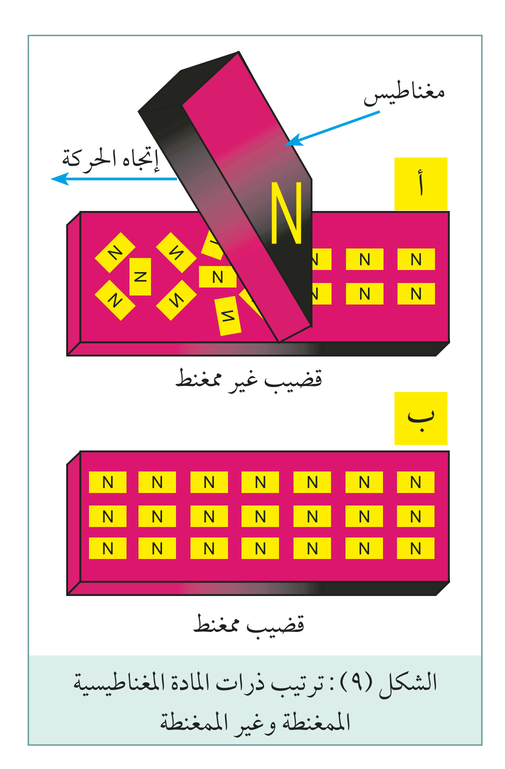
المواد غير المغناطيسية لها معامل إنفاذية يعادل تقريباً معامل إنفاذية الفراغ، أما المواد المغناطيسية فلها معامل إنفاذية مرتفع كما هو مبين في الجدول الآتي:

المادة المغناطيسية	معامل الإنفاذية النسبية للمادة المغناطيسية (عند كثافة مجال تساوي $0.002W/m^2$)
الحديد المغناطيسي	200
النيكل	100
سبيكة مكونة من: 78.5% نيكل 21.5%+ حديد	8000
سبيكة مكونة من: 75% نيكل 2%+ كروم 5%+ نحاس 18%+ حديد	20000



م النظرية الذرية للمغناطيسية:

تستخدم النظرية الذرية للمغناطيسية لتفسير الظواهر المغناطيسية المختلفة، مثل المغنطة بالدلك، وفقدان المغناطيس الدائم لقوته المغناطيسية عند تعرضه للطرق، وغير ذلك من الظواهر المغناطيسية. وتنص هذه النظرية على أن كل ذرة من ذرات المادة المغناطيسية هي مغناطيس صغير بحد ذاته. وفي المادة المغناطيسية غير الممغنطة، كما موضح في الشكل (٢١-أ)، تكون الذرات متجهة بشكل عشوائي ومتجاذبة فيما بينها بحيث تتعادل مغناطيسياً ولا يظهر لها أثراً مغناطيسياً خارجياً. وعند مغنطة أي قضيب من مادة مغناطيسية بإحدى الطرق التي سبق ذكرها، تترتب ذراته وتظهر محصلتها المغناطيسية في طرفيه، كما في الشكل (٩-ب).



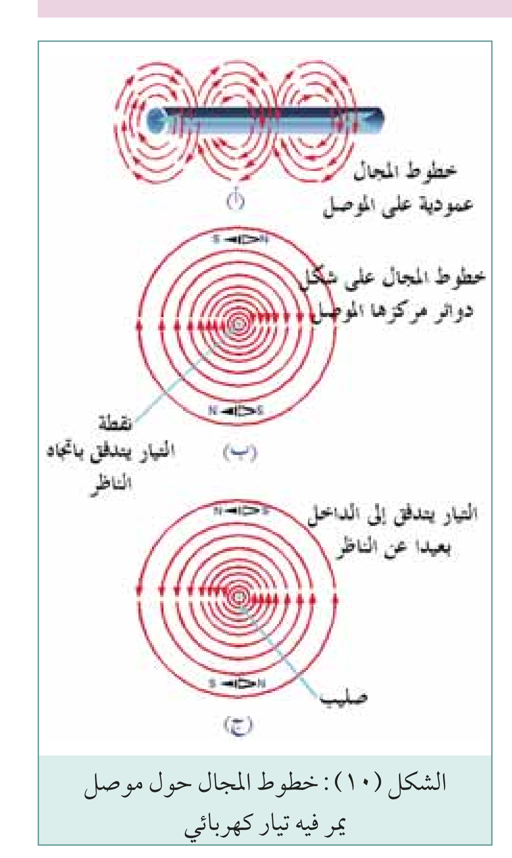
الشكل (٩): ترتيب ذرات المادة المغناطيسية الممغنطة وغير الممغنطة

٢ الكهرومغناطيسية

توجد علاقة وطيدة بين الكهرباء والمغناطيسية، إذ اكتشف العالم الألماني أورستيد في عام (١٨٢٠) أنه عندما يسري تيار كهربائي في موصل، يتولد حول هذا الموصل مجالاً مغناطيسياً مهما كان شكل ذلك الموصل. وفيما يلي توضيحاً للمجال الناشئ عن مرور التيار الكهربائي في الموصلات:

أ مرور التيار الكهربائي في موصل مستقيم:

عندما يسري تيار كهربائي في موصل مستقيم، يتولد حول هذا الموصل مجالاً مغناطيسياً بشكل دوائر مركزها الموصل نفسه. وتمتد على طول هذا الموصل ،وتكون موجودة في مستوى عمودي على الموصل وتتقارب كلما اقتربنا من الموصل،وتتباعد كلما ابتعدنا عنه،كما هو مبين في الشكل (١٠). علماً بأن اتجاه خطوط المجال حول الموصل يعتمد على اتجاه التيار المار في الموصل،ومن أجل تسهيل عملية الرسم، اصطلح أن يرمز للتيار الداخل في موصل باتجاه بعيد عن الناظر بدارة صغيرة بداخلها إشارة (X).كما يرمز للتيار الخارج من الموصل باتجاه الناظر بدارة صغيرة بداخلها إشارة (•).



الشكل (١٠): خطوط المجال حول موصل يمر فيه تيار كهربائي

ويمكن تخطيط المجال المغناطيسي للتيار المار في موصل بنثر برادة الحديد على قطعة من الكرتون يخترقها هذا الموصل بشكل عمودي . كما هو مبين في الشكل (١١) .



الشكل (١١) : تخطيط المجال المغناطيسي للتيار الكهربائي المار موصل مستقيم

إن كثافة المجال (B) عند نقطة ما بالقرب من الموصل تتناسب طردياً مع شدة التيار (I) المار في هذا الموصل، وعكسياً مع المسافة العمودية بينها وبين الموصل(r)، وإذا افترضنا أن الوسط هو الفراغ، تعطى الكثافة المغناطيسية عند نقطة ما بالقرب من الموصل بالعلاقة :

$$B = \frac{\propto_0 I}{2\pi r}$$

مثال ٢

أوجد كثافة المجال المغناطيسي الناتج على مسافة قدرها 50مم من سلك مستقيم يمر به تيار شدته 20 أمبير .

الحل

$$B = \frac{12.5 \times 10^{-7} \times 20}{2 \times 3.14 \times 50 \times 10^{-3}}$$

$$B = 800 \times 10^{-6} = 800\mu T$$

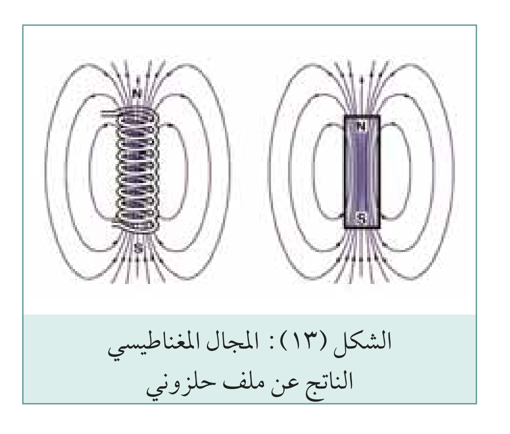
ب قاعدة اليد اليمنى:

هذه القاعدة معروفة لتحديد اتجاه خطوط القوى المغناطيسية المتولدة حول موصل مستقيم. ويوضح الشكل (١٢) هذه القاعدة، حيث تتخيل بأنك تقبض بيدك اليمنى على الموصل، وتمد إصبع إبهامك باتجاه مرور التيار المار في الموصل، فيدلك اتجاه بقية الأصابع إلى اتجاه المجال المغناطيسي حول الموصل .


الشكل (١٢) : قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول موصل مستقيم

ج المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلزوني:

عندما يسري تيار كهربائي في موصل على شكل ملف حلزوني كما هو مبين في الشكل (١٣)، يتولد حول هذا الموصل مجالاً مغناطيسياً يشبه المجال المغناطيسي الذي ينتجه المغناطيس الدائم، حيث تتحد خطوط المجال التي تنتجها اللفات المتجاورة وتكون مجالاً موحداً يشبه في خواصه المجال المغناطيسي الناتج عن المغناطيس الدائم.



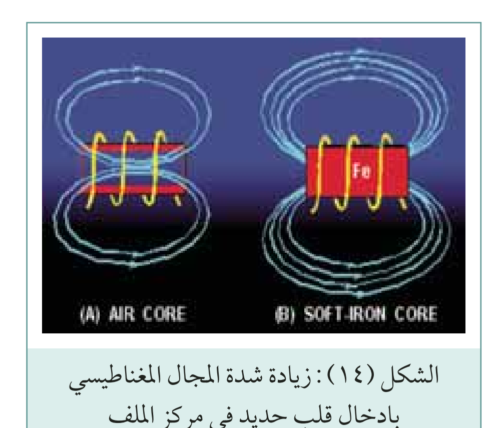
الشكل (١٣): المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلزوني

هناك ثلاث طرق لزيادة قوة المجال المغناطيسي حول ملف:

الطريقة الأولى: تتم بزيادة التيار.

الطريقة الثانية: زيادة عدد اللفات.

الطريقة الثالثة: تتم بإدخال قضيب حديد في مركز الملف كما هو مبين في الشكل (١٤)، مما يؤدي إلى زيادة قوة المجال المغناطيسي بشكل كبير بسبب النفاذية المغناطيسية المرتفعة للحديد المطاوع، وإلى تركيز خطوط المجال المغناطيسي.



الشكل (١٤): زيادة شدة المجال المغناطيسي بادخال قلب حديد في مركز الملف

وتعطى كثافة المجال المغناطيسي(B) عند مركز ملف حلزوني طويل بالعلاقة الآتية:

كثافة المجال المغناطيسي(B)= الإنفاذية المطلقة لمادة قلب الملف × عدد اللفات لكل متر × التيار

$$B = \frac{\mu \times N \times I}{L}$$

حيث أن:

μ= الإنفاذية المطلقة لمادة قلب الملف

N= عدد اللفات الكلي للملف.

L= طول الملف بالمتر.

I =تيار الملف بالأمبير.

مــــثـــــال ٣

ملف حلزوني طوله 0.1 متر ، عدد لفاته 100 لفة ، قيمة التيار المار في الملف 1أمبير ، أوجد كثافة المجال المغناطيسي عند مركز الملف إذا علم أن معامل الإنفاذية النسبي لمادة قلب الملف يساوي 79.577

الحــــــــل

$$B = \frac{\mu \times N \times I}{L}$$

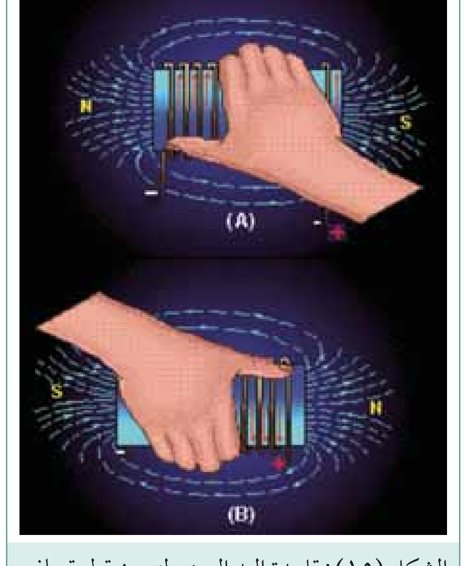
$$B = \frac{\mu_r \mu_0 \times N \times I}{L}$$

$$B = \frac{79.577 \times 12.57 \times 10^{-7} \times 100 \times 1}{0.1}$$

$$B = 0.1\ T$$

د قاعدة اليد اليسرى للملف:

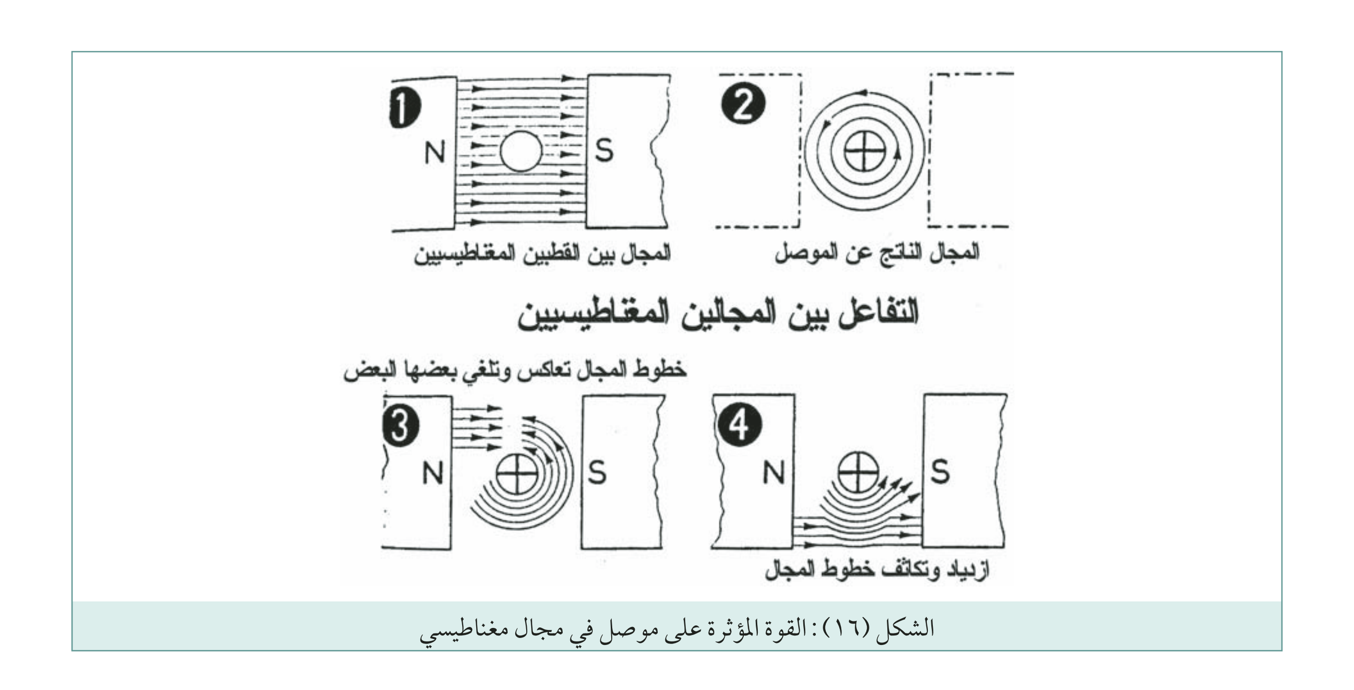
هناك قاعدة معروفة لتعيين قطبية أي ملف يسري فيه تيار كهربائي، تعرف بقاعدة اليد اليسرى للملف. ويوضح الشكل (١٥) هذه القاعدة، حيث تتخيل بأنك تقبض بيدك اليسرى على محور الملف، بحيث تتجه أصابع يدك باتجاه سريان التيار المار في الملف، عندئذ يكون امتداد إصبع الإبهام دالاً على القطب الشمالي، ويكون الطرف الآخر هو القطب الجنوبي.



الشكل (١٥) : قاعدة اليد اليمنى لتعيين قطبية ملف يمر فيه تيار كهربائي

هـ القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي:

مر معك أنه إذا سرى تيار كهربائي في موصل ينشأ حول هذا الموصل مجال مغناطيسي. ولكن إذا وضع هذا الموصل في مجال مغناطيسي آخر يحصل تفاعل بين المجالين يؤدي إلى تحريك الموصل. افرض أن موصلاً وضع بين قطبين مغناطيسيين كما هو موضح في الشكل (١٦)، وسرى في الموصل تيار كهربائي باتجاه بعيد عن الناظر (إلى الداخل)، فإن الموصل يتحرك إلى الأعلى نتيجة ازدياد وتكاثف خطوط القوى المغناطيسية تحته. أما إذا عكس اتجاه التيار في الموصل باتجاه الناظر إلى الخارج، يتحرك هذا الموصل إلى الأسفل نتيجة ازدياد وتكاثف خطوط القوى المغناطيسية فوقه.



الشكل (١٦) : القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي

و قاعدة اليد اليسرى اليمنى للمحرك:

هناك قاعدة معروفة لتحديد اتجاه القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي، تعرف بقاعدة اليد اليسرى للمحرك. ويوضح الشكل (١٧) هذه القاعدة، حيث يشير إصبع الوسطى إلى اتجاه التيار في الموصل، ويشير إصبع السبابة متعامداً على الوسطى إلى اتجاه خطوط المجال، وإصبع الإبهام متعامداً على الوسطى والسبابة إلى اتجاه القوة المؤثرة على الموصل.



الشكل (١٧) : قاعدة اليد اليسرى لتحديد إتجاه القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي

ز قيمة القوة المؤثرة على الموصل

تعتمد قيمة القوة المؤثرة على موصل يحمل تيار في مجال مغناطيسي على مايلي:

١ قيمة التيار المار في الموصل(I).

٢ كثافة المجال المغناطيسي الموجود فيه الموصل(B).

٣ طول الموصل(L).

٤ الزاوية بين الموصل والمجال المغناطيسي(α).

وتعطى قيمة القوة المؤثرة على موصل بالعلاقة التالية :

القوة المؤثرة (بالنيوتن) =

التيار (بالأمبير)×كثافة المجال المغناطيسي(بالتسلا)×طول الموصل(بالمتر)×جيب الزاوية بين الموصل والمجال المغناطيسي

$$F= I \times B \times L \times \sin\alpha$$

ويلاحظ أن القوة تبلغ أقصى قيمة لها إذا كان الموصل عمودي على المجال($\alpha=90^0$) . وتساوي قيمتها الصفر عندما يكون الموصل موازياً لخطوط المجال المغناطيسي($\alpha=0^0$) .

مــثـــال ٤

موصل طوله 0.2 متر يحمل تيار مقداره 15 أمبير، وضع الموصل في مجال مغناطيسي كثافته 0.8 تسلا. احسب القوة المؤثرة على الموصل إذا كانت الزاوية بن الموصل وخطوط المجال المغناطيسي 30^0

الحـــــــل

$F = I \times B \times L \times \sin\alpha$

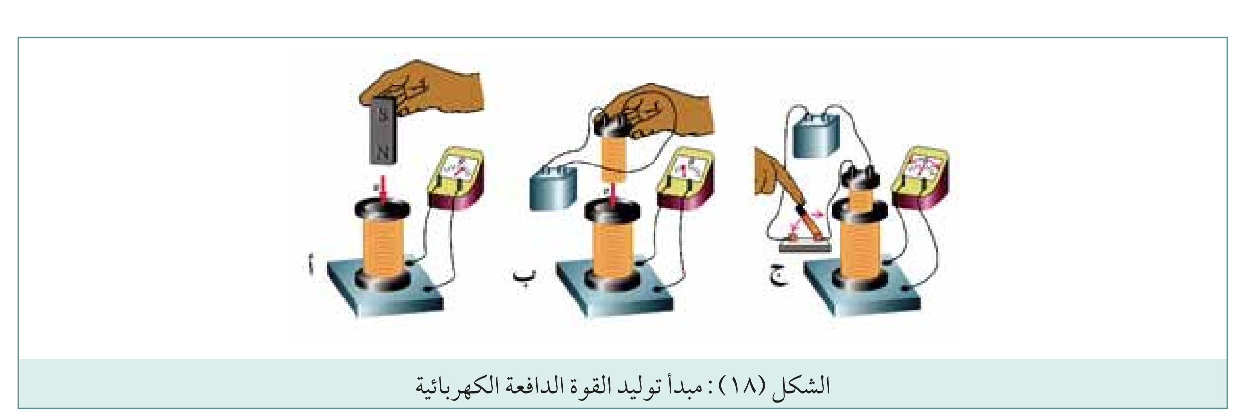
$F = 15 \times 0.8 \times 0.2 \times \sin30$

$F = 15 \times 0.8 \times 0.2 \times 0.5$

$F = 1.2$ نيوتن

٣ التأثير الكهرومغناطيسي

اكتشف العالم فارادي عام (1831) مبدأ توليد القوة الدافعة الكهر**بائية** (Electro Motive Force) التي يرمز إليها بالأحرف (EMF)، ولقد استعان هذا العالم بموصل على شكل ملف يتصل بجهاز جلفانوميتر لقياس التيار الكهربائي، ويتحرك هذا الملف في مجال مغناطيسي ناتج عن مغناطيس دائم كما موضح في الشكل (١٨) .



الشكل (١٨) : مبدأ توليد القوة الدافعة الكهربائية

لاحظ العالم فارادي أنه عندما يتحرك الموصل ويقطع خطوط المجال المغناطيسي، يتحرك مؤشر الجلفانوميتر دالاً على توليد قوة دافعة كهربائية لحظية في هذا الموصل ناتج بالتأثير، وعندما تتوقف حركة الملف يعود مؤشر الجلفانوميتر إلى نقطة الصفر دالاً على زوال هذه القوة. ويمكن الحصول على نفس النتيجة، إذا استخدم مغناطيس كهربائي بدل من المغناطيس الدائم، كما هو مبين في الشكل (٦٢-ب). كما يمكن تثبيت الموصل وتحريك المغناطيس أو تقطيع التيار المار في ملف المغناطيس الكهربائي بواسطة مفتاح للحصول على مجال مغناطيسي متحرك.

وتعرف هذه الظاهرة بالتأثير أو الحث أو التحريض الكهرومغناطيسي، أي توليد جهد كهربائي في الموصل ناتج عن وجود حركة نسبية بينها وبين مجال مغناطيسي معين.

أ العوامل المؤثرة على قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير:

تعتمد قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير في موصل، على العوامل الآتية:

- كثافة المجال المغناطيسي الذي يتحرك فيه الموصل (B).
- السرعة التي يقطع بها الموصل خطوط المجال المغناطيسي (v).
- طول الموصل (L).
- الزاوية التي يقطع بها الموصل خطوط المجال المغناطيسي (θq)

القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية (بالفولت) = السرعة (بالمتر/ ثانية) × كثافة المجال المغناطيسي (بالتسلا) × طول الموصل (بالمتر) × جيب الزاوية بين الموصل والمجال المغناطيسي.

$$E= V \times L \times B \times \sin\theta$$



الشكل (١٩): قاعدة اليد اليمنى اليسرى للمولد لتحديد إتجاه القوة الدافعة الكهربائية

ب اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير:

إن قطبية القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الموصل بالتأثير وبالتالي اتجاه التيار الناتج عنها، تعتمد على اتجاه الحركة النسبية بين الموصل وخطوط المجال المغناطيسي، أي الاتجاه الذي يقطع به الموصل خطوط المجال المغناطيسي.

ولتعيين اتجاه القوة الدافعة الكهربائية، تطبق قاعدة اليد اليمنى للمولد، التي تنص على الآتي: إذا كان إصبع الإبهام يشير إلى اتجاه حركة الموصل، وإصبع السبابة المتعامد على الإبهام يشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي، فأن الإصبع الأوسط متعامداً على الإبهام والسبابة سيشير إلى اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الموصل، كما هو موضح في الشكل (١٩).

أسئلة الدرس:

أولاً: المبادئ الأساسية في المغناطيسية

■ أكمل الفراغات التالية :

١ المواد المغناطيسية هي المواد ....

٢ من أشهر المواد المغناطيسية .... و .... و ....

٣ المواد غير المغناطيسية هي المواد ....

٤ من الأمثلة على المواد غير المغناطيسية .... و .... و ....

٥ المغناطيس الطبيعي هو أحد ....

٦ تتم مغنطة المواد المغناطيسية بثلاثة طرق ، هي :

أ .... ب .... جـ ....

٧ يصنع المغناطيس الدائم من ....

٨ لكل مغناطيس قطبين مغناطيسيين ، هما :

أ القطب .... ويرمز له بالحرف ....

ب القطب .... ويرمز له بالحرف ....

٩ أ الأقطاب المتشابهة .... والأقطاب المختلفة ....

ب المجال أو الحقل المغناطيسي هو المنطقة ....

جـ خطوط القوى المغناطيسية هي ....

١٠ أهم مميزات خطوط القوى المغناطيسية :

أ .... ب ....

١١ الكثافة المغناطيسية هي .... وتقاس بوحدة ....

١٢ النفاذية المغناطيسية تعبر عن قدرة المواد على ....

١٣ المواد المغناطيسية لها معامل نفاذية ....

المواد غير المغناطيسية لها معامل نفاذية ....

١٤ ارسم خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس دائم .

١٥ اشرح مع الرسم النظرية الذرية للمغناطيسية؟

ثانياً: الكهرومغناطيسية

■ أكمل الفراغات التالية :

١ عندما يسرى تيار كهربائي في موصل يتولد ....

٢ يكون شكل المجال المغناطيسي المتولد حول موصل مستقيم على شكل ....

٣ المجال المغناطيسي الذي ينتجه الملف يشبه ....

٤ يمكن زيادة شدة المجال المغناطيسي الذي ينتجه الملف بثلاثة طرق ، هي :

أ .... ب .... جـ ....

٥ ارسم خطوط المجال المغناطيسي حول الموصلات التالية :

٦ ارسم خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس الكهربائي .

٧ باستخدام قاعدة اليد اليمنى للمحرك ، حدد اتجاه القوة المؤثرة على الموصلات التالية :

٨ ارسم رسماً توضيحياً مبسطاً يبين تركيب المرحل الكهرومغناطيسي .

ثالثاً: التأثير الكهرومغناطيسي

أكمل الفراغات التالية :

١ التأثير الكهرومغناطيسي هو ....

٢ تعتمد قيمة الجهد التأثيري على العوامل التالية :

أ .... ب .... جـ ....

٣ الجهد أو التيار الذي ينتجه مولد التيار المتغير يتبع منحنى ....

٤ ارسم منحنى موجة الجهد التي ينتجها ملف مولد التيار المتغير المبين في الشكل أدناه عندما تتم دورة كاملة .

٥ التأثير المتبادل هو : ....

٦ اذكر استخدامات التأثير المتبادل في التطبيقات العملية؟

٧ التأثير الذاتي هو : ....

٨ قطبية الجهد التأثيري العكسي المتولد في ملف ما تكون بحيث ....

٩ الحثية هي ....

١٠ اذكر وحدة قياس الحثية ورمزها وجزيئاتها؟

١١ اذكر العوامل التي تحدد قيمة حثية الملف :

أ .... ب .... جـ ....

د .... هـ .... و ....

١٢ اذكر مضار الجهد التأثيري العكسي المتولد عند قطع التيار الكهربائي المار عبر ملفات دارة كهربائية .

١٣ اذكر أحد استخدامات الجهد التأثيري العكسي .

١٤ ملف تبلغ حثيته (3) هنري . انهار التيار المار في هذا الملف من (10) إلى (0) أمبير في زمن مقداره (5) ميلي ثانية (0.005 ثانية) . احسب قيمة الجهد التأثيري المتولد في الملف .



المبادئ الأساسية للتيار المتناوب

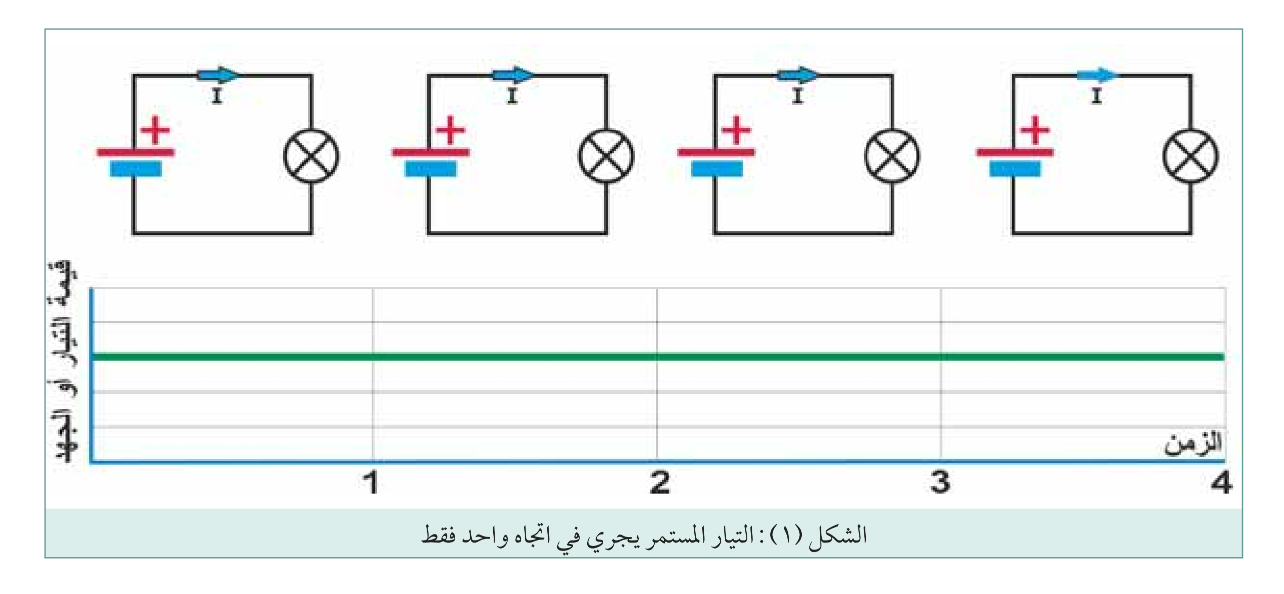
في الدروس السابقة، تعاملنا بشكل رئيسي مع التيار المستمر (DC)، وفي هذه الدرس سنشرح التيار المتناوب (AC) الشائع الاستعمال في البيوت والمصانع، والذي نحصل عليه بصورة رئيسية من مولدات التيار المتناوب العائدة لسلطة أو شركة الكهرباء. فما الذي يميز هذا التيار عن التيار المستمر؟وما خصائصه؟

نجيب في هذا الدرس على هذه التساؤلات فنبين خصائص ومميزات وكيفية توليد التيار المتناوب، ونناقش المفاهيم الأساسية المتعلقة به مثل التردد وفرق الطور.

ما الذي يميز التيار المتناوب عن التيار المستمر؟

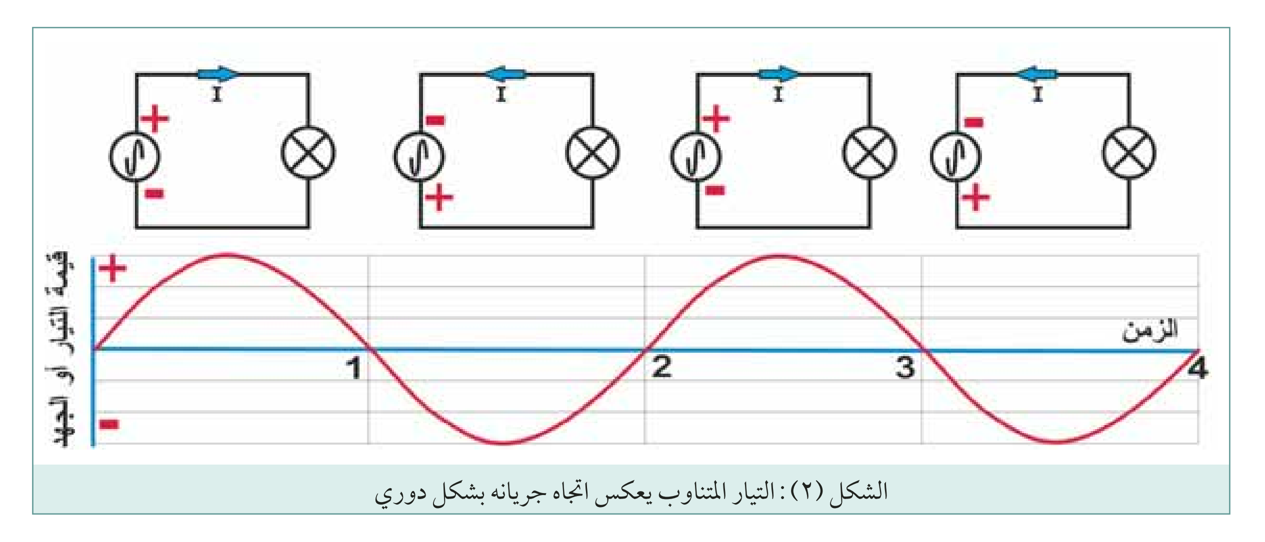
يختلف التيار المتناوب عن التيار المستمر في النقاط التالية:

- التيار المستمر ثابت القيمة والاتجاه بمرور الزمن، وذلك بسبب ثبات قطبية مصدر الجهد المستمر. الشكل (١) التيار المستمر ثابت الاتجاه، أما التيار المتناوب فيعكس اتجاه جريانه بشكل دوري.



الشكل (١): التيار المستمر يجري في اتجاه واحد فقط

- أما التيار المتناوب فيعكس اتجاه جريانه بشكل دوري، لان قطبية طرفي مصدر الجهد المتناوب تنعكس بشكل دوري بين الموجب والسالب. كما أن القيمة اللحظية للتيار والجهد المتناوب تتغير باستمرار مع الزمن. إن التيار المتناوب الذي تزودنا به سلطة أو شركة الكهرباء يعكس اتجاه جريانه خمسين مرة في الثانية الواحدة.

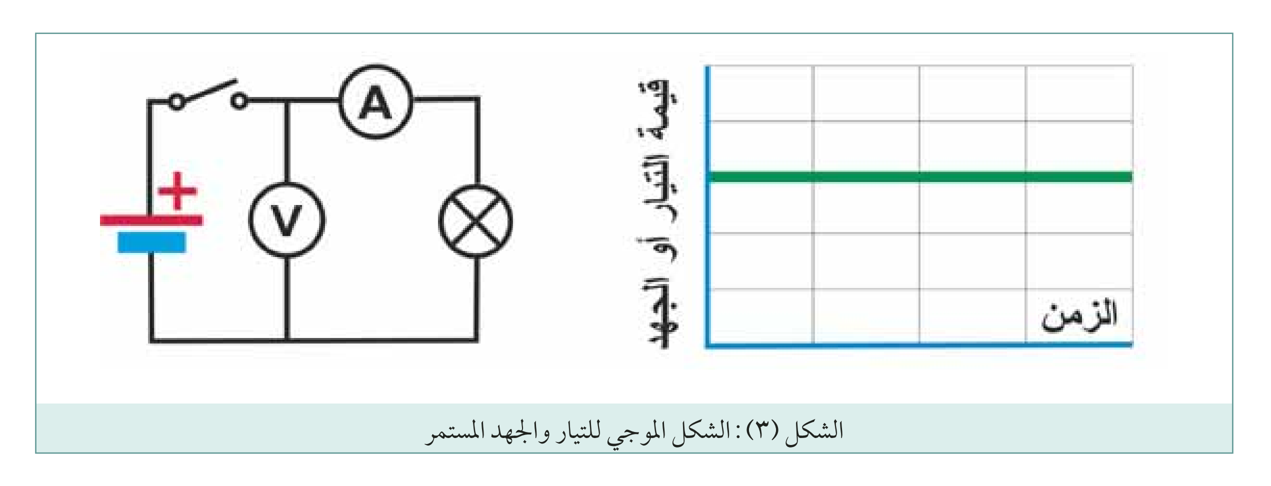


الشكل (٢) : التيار المتناوب يعكس اتجاه جريانه بشكل دوري

- نحصل على التيار المستمر من البطاريات ومولدات التيار المستمر ، ودارات التوحيد الإلكترونية التي تقوم بتحويل التيار المتناوب العام إلى تيار مستمر . أما التيار المتناوب فنحصل عليه بصورة رئيسية من مولدات التيار المتناوب العائدة لسلطة أو شركة الكهرباء . وسنشرح لاحقا كيفية توليد التيار المتناوب .
- يمكن استخدام المحولات الكهرومغناطيسية لرفع أو خفض الجهد المتناوب ، وذلك بسهولة وبدون خسائر في القدرة . أما معدات وأجهزة تحويل التيار المستمر من مستوى إلى آخر فتعتبر حتى الآن معقدة ومنخفضة الكفاءة وهذا هو السبب الرئيسي الذي أدى إلى اعتماد التيار المتناوب في أنظمة إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية في جميع أنحاء العالم .

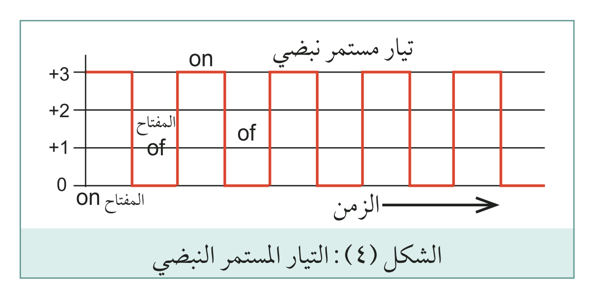
١ الأشكال الموجية (Waveforms)

الشكل الموجي عبارة عن رسم بياني يبين نمط التغيرات في قيمة الجهد أو التيار بمرور الزمن . الشكل الموجي للتيار أو الجهد المستمر عبارة عن خط مستقيم . ويمكن استنتاج الشكل الموجي للتيار والجهد المستمر بواسطة الدارة البسيطة المبينة في الشكل (٣) . فإذا قمنا بتسجيل قياسات التيار والجهد عند القيم نفسها خلال فترة التجربة . وعند رسم منحنى العلاقة بين التيار والجهد مع الزمن ، سوف نحصل على خط مستقيم كما هو مبين في الشكل (٣) .



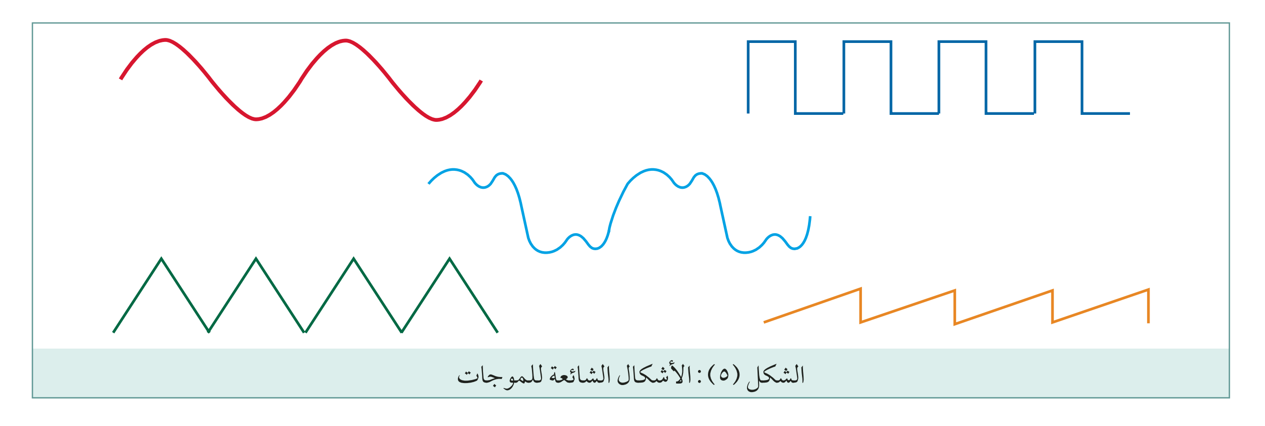
الشكل (٣) : الشكل الموجي للتيار والجهد المستمر

إما إذا استخدمنا مفتاح لتقطيع التيار عبر المقاومة بشكل منتظم، فسوف نحصل على موجة تيار مستمر نبضية . . ، كما هو مبين في الشكل (٤)

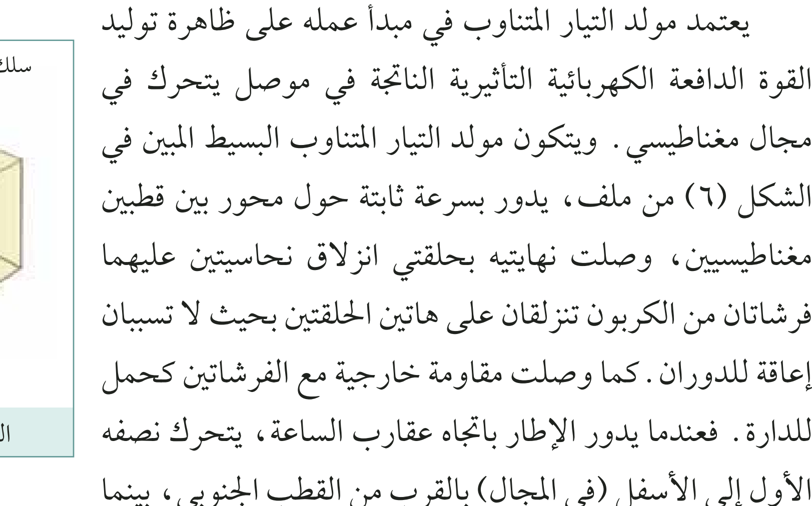


الشكل (٤) : التيار المستمر النبضي

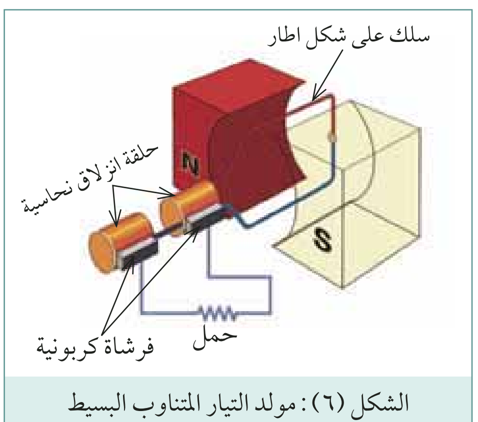
هناك العديد من أشكال الموجات التي نجدها في الدارات الكهربائية، ومن بين تلك الأنواع: الموجة الجيبية، والموجة المربعة والموجة المثلثة وموجة سن المنشار والنبضات . وهناك أيضا الموجات المعقدة التي تتكون من العديد من المكونات عند ترددات مختلفة .


الشكل (٥) : الأشكال الشائعة للموجات

٢ توليد التيار المتناوب:



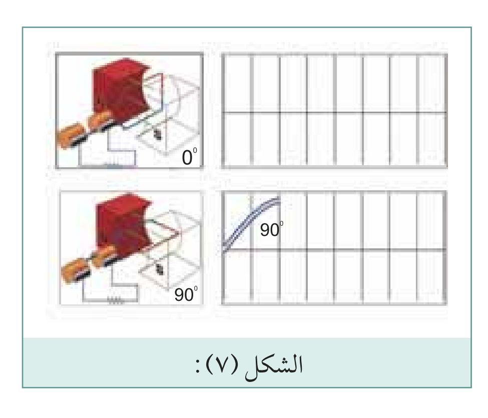
يعتمد مولد التيار المتناوب في مبدأ عمله على ظاهرة توليد القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية الناتجة في موصل يتحرك في مجال مغناطيسي . ويتكون مولد التيار المتناوب البسيط المبين في الشكل (٦) من ملف، يدور بسرعة ثابتة حول محور بين قطبين مغناطيسيين، وصلت نهايتيه بحلقتي انزلاق نحاسيتين عليهما فرشاتان من الكربون تنزلقان على هاتين الحلقتين بحيث لا تسببان إعاقة للدوران . كما وصلت مقاومة خارجية مع الفرشاتين كحمل للدارة . فعندما يدور الإطار باتجاه عقارب الساعة، يتحرك نصفه الأول إلى الأسفل (في المجال) بالقرب من القطب الجنوبي، بينما يتحرك نصفه الآخر إلى الأعلى بالقرب من القطب الشمالي . وبهذا فإن الجهد المتولد بالتأثير في أحد النصفين يدعم الجهد المتولد بالتأثير في النصف الآخر، تماماً كما لو وصلت بطاريتين على التوالي . وهذا الجهد يؤدي إلى تدفق تيار كهربائي في مقاومة الحمل عبر حلقتي الانزلاق والفرش الكربونية .



الشكل (٦) : مولد التيار المتناوب البسيط

ولكي ترى كيف يتم توليد هذا الجهد، عليك أن تتابع حركة الملف (الإطار) وهو ينجز دورة كاملة في أوضاعه المختلفة:

أ الوضع (0-90):

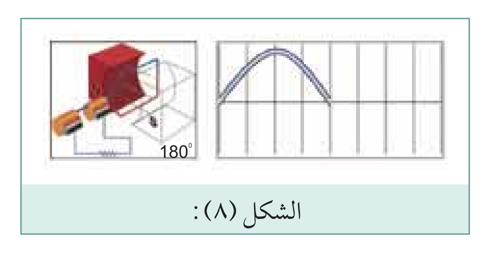


الشكل (٧):

عندما تكون الزاوية (صفراً) بين مستوى الملف وخطوط المجال تكون حركة أطراف الملف موازية لخطوط المجال المغناطيسي (لا تقطعها)، فلا يكون هناك أي جهد تأثيري في هذه اللحظة.

وما أن يدور الملف حتى يبدأ بقطع خطوط المجال المغناطيسي، فيتولد فيه جهد تأثيري. ويبدأ هذا الجهد بالارتفاع حتى يصل إلى قيمته العظمى عند الزاوية (90) درجة، حيث يقطع الملف أكبر عدد من خطوط المجال بشكل عمودي، كما هو موضح في الشكل (٨).

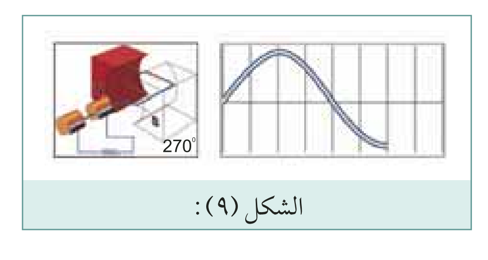
ب الوضع (90 - 180):



الشكل (٨):

عندما تزيد زاوية الدوران عن(90) درجة، يبدأ الجهد بالانخفاض لأن الملف يقطع عدداً أقل من خطوط المجال. وعندما يصل الزاوية (180) درجة، يصبح الجهد التأثيري المتولد (صفراً) مرة ثانية، لأن الملف يتحرك موازياً لخطوط المجال المغناطيسي، كما مبين في الشكل (٩).

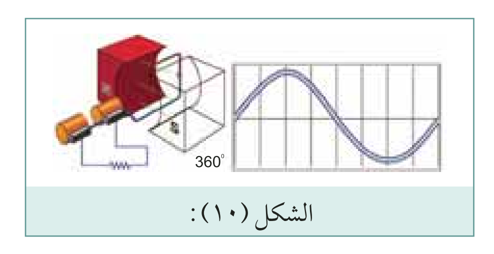
ج الوضع (180-270):



الشكل (٩):

عندما تزيد زاوية الدوران عن (180)درجة، يبدأ الجهد بالارتفاع لأنه يقطع خطوط المجال مرة ثانية. ولكن في هذه اللحظة، تنعكس قطبيه الملف بسبب انعكاس اتجاه طرفيه بالنسبة لخطوط المجال المغناطيسي. ويتشكل الجهد السالب الأعظم عند الزاوية (270) درجة، لأن الملف في هذه النقطة يقطع خطوط المجال بشكل عمودي.

د الوضع (270 - 360):



الشكل (١٠):

وعندما يتجه الملف نحو النقطة التي بدأ فيها الدوران، يبدأ الجهد بالانخفاض ثانية نحو (الصفر). ويدعى منحنى الجهد المبين في الشكل (36) باسم "موجة جيبية"، حيث تتشكل موجة جيبية واحدة عند كل دورة كاملة للملف.

إن التيار الكهربائي العام الذي يصل المنازل والمصانع من شركة الكهرباء، هو تيار متغير، يقوم بتوليده مولدات كهربائية كبيرة تدور بمعدل (50) مرة في الثانية الواحدة، وبالتالي تولد (50) موجة جيبية في كل ثانية.

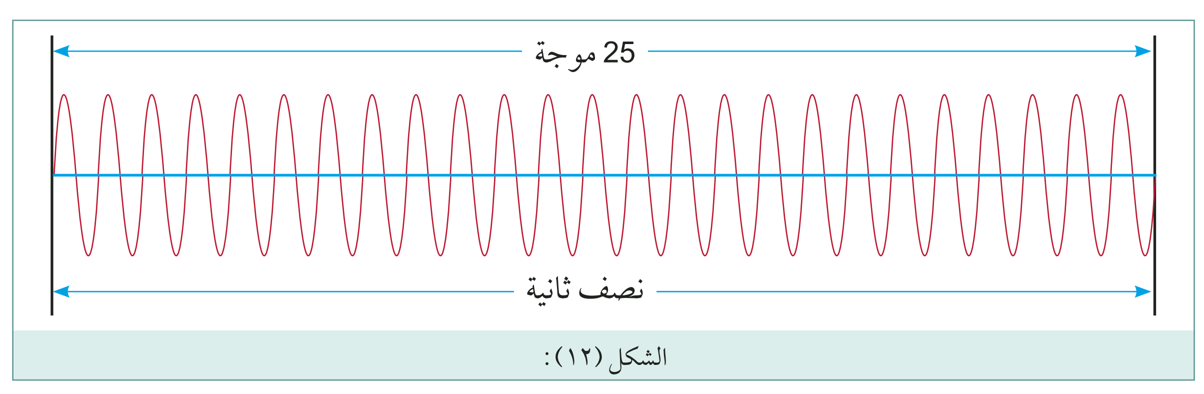
يتم توليد التيار المتناوب في محطات الطاقة الكهربائية بواسطة مولدات ثلاثة فاز متزامنة Generator Three-Phase Synchronous وتكون هذه المولدات في الحقيقة أكثر تعقيدا مما تم شرحه . إذ تستخدم عدد اكبر من الملفات . ويستبدل المغناطيس الدائم بمغناطيس كهربائي، كما يستخدم أكثر من قطبين في المولد، حسب سرعة المحرك الذي يديره، يرمز لمصدر أو مولد التيار المتناوب بدارة داخلها شكل موجة جيبية. ويخرج منها طرفان ، ولا تحدد له قطبية ، إذ أن قطبيته تتغير لحظيا.

٢ التردد - Frequency

الموجة الكاملة للجهد أو التيار تشمل تغيراً كاملاً لقيمتها اللحظية، حيث تبدأ بالتزايد من الصفر إلى أن تبلغ الحد الأعلى الموجب ثم تتناقص إلى أن تعود إلى الصفر. بعد ذلك تبدأ بالتزايد في الاتجاه المعاكس حتى تبلغ حدها الأعلى السالب ثم تتناقص حتى تصل إلى الصفر مرة أخرى. ويتكرر هذا النمط بصورة منتظمة مع مرور الزمن . ويسمى عدد الموجات المتولدة في ثانية واحدة التردد (Frequency)، ويرمز للتردد بالحرف (f) ويقاس بوحدة تسمى هيرتز ويرمز لها بالحرف. (Hz)

الشكل (١١): الموجة الجيبية

الموجة الجيبية المبينة في الشكل (١٤) تكمل 25 دورة في نصف ثانية، أي 50 دورة في الثانية الواحدة وبالتالي فإن ترددها يساوي 50 هيرتز. تردد التيار المتناوب المستعمل في بلادنا ومعظم دول العالم يساوي 50 هيرتز، أما الولايات المتحدة فتستعمل تردد ٦٠ هيرتز. لم يكن اختيار مثل هذا التردد عشوائيا بل له أسبابه. إذ أن انخفاض التردد عن القيمة المحددة له يعد أمر غير مقبول. لان المصباح الفتيلي يعطي ضوءاً متقطعاً بصورة ملحوظة للعين عندما ينخفض التردد حتى 40 هيرتز. كما إن ارتفاع التردد يؤدي إلى ارتفاع مقاومة الأسلاك المستخدمة في نقل التيار المتناوب.



الشكل (١٢):

في مجال الراديو والتلفزيون والاتصالات تستخدم ترددات عالية جداً، لذا تستخدم مضاعفات الهيرتز الآتية :

كيلو هيرتز (KHz) = 1000 هيرتز

ميغا هيرتز (MHz) = 1000,000 هيرتز

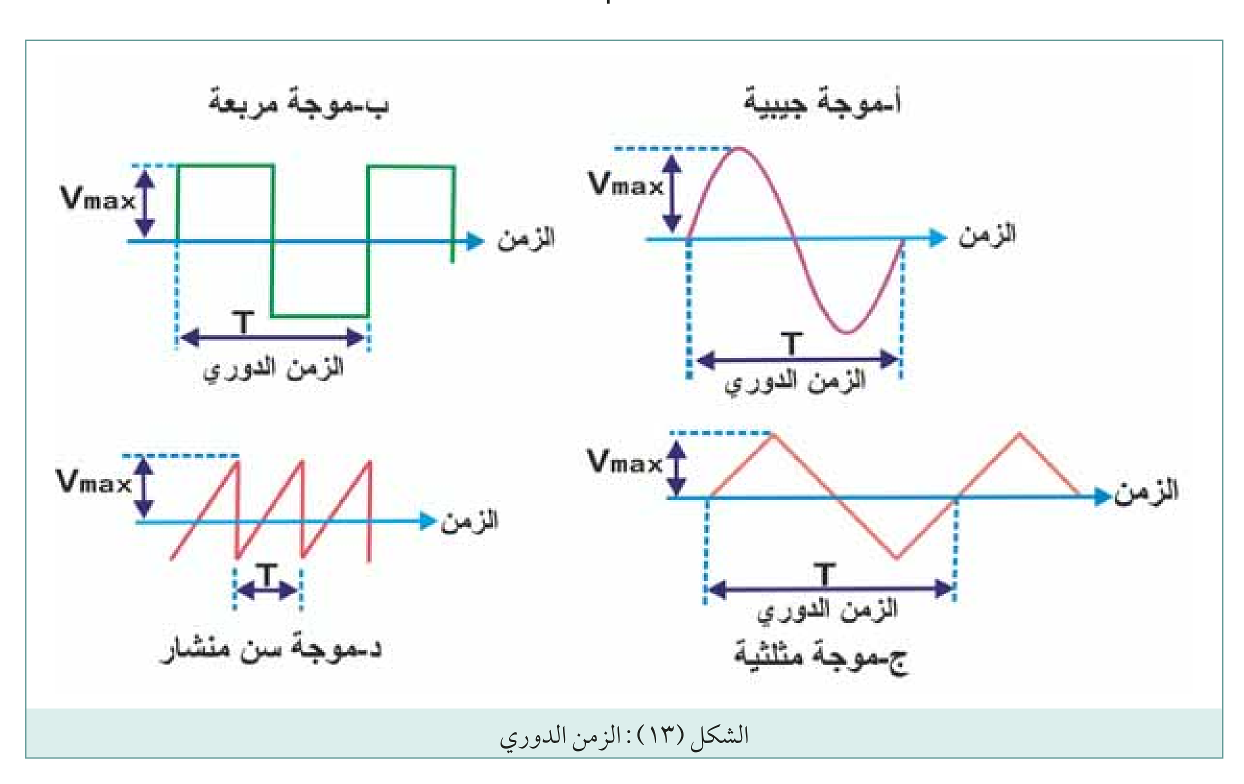
جيجا هيرتز (GHz) = 1000,000,000) هيرتز

يطلق على الفترة الزمنية التي تستغرقها الدورة الواحدة للتيار المتناوب اسم الزمن الدوري . ويرمز لها بالحرف T وتساوي مقلوب التردد(f) أي أن :

$$T=\frac{1}{f}$$

والشكل الأخر لهذه العلاقة :

$$f=\frac{1}{T}$$



الشكل (١٣) : الزمن الدوري

مـــثـــال

تردد التيار المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء يساوي ٥٠ هيرتز، احسب الزمن الدوري لموجة هذا التيار .

الحــــل

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{50} = 0.02\ S$$

مـــثـــال

موجة جيبية زمنها الدوري يساوي 16.6 ميلي ثانية " 0.0166 ثانية " احسب ترددها .

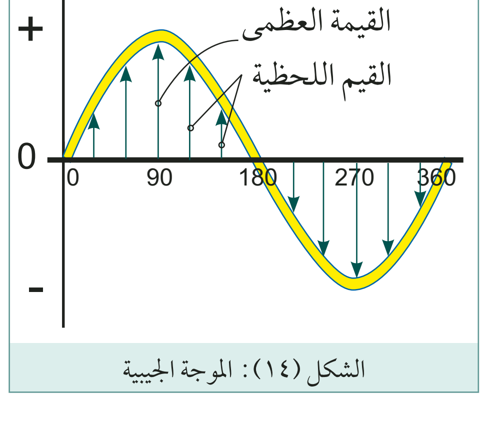
الحـــــل

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{0.0166} = 60\ HZ$$

٤ قياسات الموجة الجيبية للجهد أو التيار

الجهد الكهربائي الذي تزودنا به مولدات شركة الكهرباء، هو جهد متناوب جيبي، وقد سمي بهذا الاسم لان تغير الجهد بالنسبة للزمن يتبع من حيث الشكل منحنى جيب الزاوية لذا يمكن التعبير عن قيمة الفولتية عند أي لحظة بدلالة زاوية الدوران(θ) بالعلاقة الآتية : $V(\theta) = V_m \, Sin\theta$



الشكل (١٤) : الموجة الجيبية

حيث أن :

$V(\theta)$= القيمة اللحظية للجهد عند زاوية الدوران(θ) .

V_m= القيمة العظمى لموجة الجهد .

$Sin\theta$ = جيب زاوية الدوران .

من العلاقة يتبن لنا أن أقصى قيمة يبلغها الجهد هي V_mويصل إليها عندما يكون (جاθ) مساوياً واحداً، أي تكون θ مساوية (90^0) . كذلك فإن قيمة الجهد تبلغ الصفر عندما يكون (جاθ) صفراً أي عندما تساوي θ صفراً أو) (180^0) . أما القيمة العظمى السالبة للجهد فتكون عندما (جاθ) يساوي (-1) أي عندما تصل θ إلى(270^0)

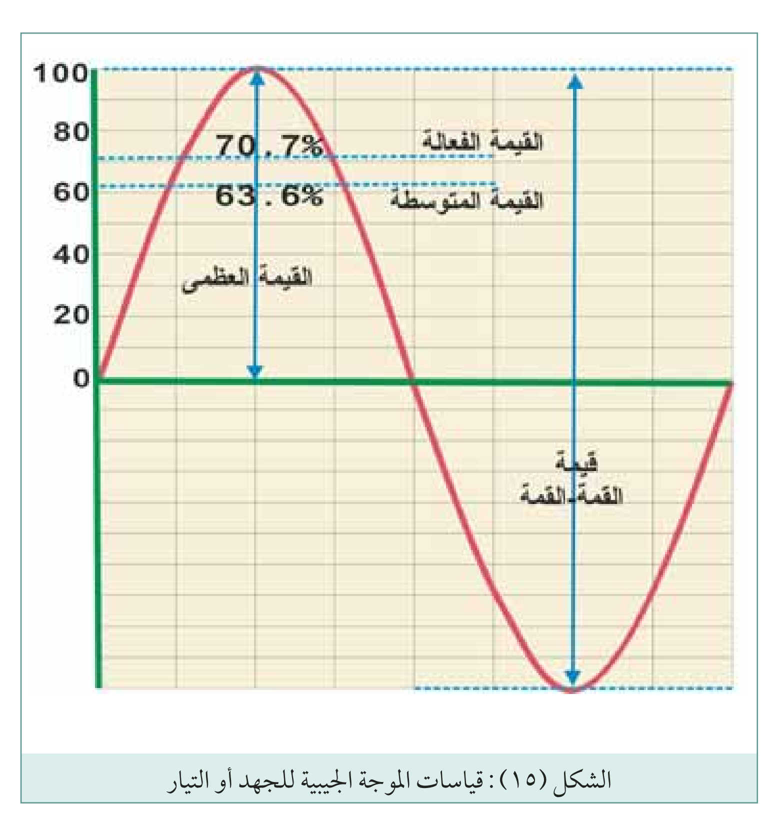
كذلك يمكن التعبير عن قيمة الجهد عند أي لحظة زمنية بدلالة سرعة دوران الزاوية (ω) والزمن (t) بالعلاقة الآتية : $V(t) = V_m \, Sin\omega t$

سرعة دوران الزاوية(ω) هي عدد الدورات الكاملة التي تكملها الموجة في الثانية الواحدة، وتعطى بالعلاقة :

$$\omega = 2\pi F$$

حيث F التردد بالهيرتز .

إن الموجة الجيبية المتناوبة للجهد أو التيار تتغير باستمرار في القيمة . ولكي نقارن موجة جيبية بأخرى ، فمن الضروري أن نعرف بعض القيم الخاصة وتوجد طرق مختلفة عديدة لتحديد اتساع Amplitude الموجة الجيبية . ويبين الشكل (١٥) الطرق الثلاثة الأكثر شيوعاً .



الشكل (١٥) : قياسات الموجة الجيبية للجهد أو التيار

١ القيمة العظمى (Maximum Value)

هي القيمة القصوى التي يبلغها الجهد أو التيار . ويرمز لها في حالة الجهد بالأحرف(Vm) ، وفي حالة التيار (Im) . وتسمى أيضًا القيمة الذروى (Peak Value) . يبين الشكل (١٥) أن القيمة العظمى لموجة جيبية تقاس من خط الصفر إلى القيمة الموجبة أو السالبة . القيمة العظمى للجهد المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء تبلغ (311 فولت) .

٢ القمة إلى القمة (Peak to Peak Value)

وهي تعبر عن اتساع الموجة الجيبية من القمة الموجبة إلى القمة السالبة . ويرمز لها في حالة الجهد بالأحرف (V_{P-P}) وفي حالة التيار (I_{P-P}) . وبما إن الموجة الجيبية المتناوبة متناظرة بالنسبة لخط الصفر ، فإن القيمة من القمة إلى القمة تساوي ضعف القيمة العظمى .

قيمة القمة إلى القمة =2 × القمة العظمى

٣ القيمة المتوسطة (Average Value)

لحساب هذه القيمة للموجات ذات الأنصاف المتماثلة نأخذ مجموعة من القيم اللحظية على امتداد نصف موجة فقط ، ونجمع هذه القيم ونقسمها على عدد العينات ، والسبب في عدم احتساب هذه القيم لنصفي الموجة هو أن المجموع الجبري للقيم اللحظية في هذه الحالة يساوي صفرا ، لان مجموع القيم الموجبة يساوي مجموع القيم السالبة . وتحتسب القيمة المتوسطة للموجة الجيبية بدلالة قيمتها العظمى بالعلاقة آلاتية : –

القيمة المتوسطة = 0.637 x القيمة العظمى

$$V_{(av)} = \frac{2}{\pi} \times V_m = 0.637 \times V_m$$

يرمز للقيمة المتوسطة الجهد بالأحرف (V_{av})، كما يرمز للقيمة المتوسطة للتيار بالأحرف (I_{av}).

٣ القيمة الفعالة (Effective Value)

لقد سميت القيمة الفعالة بهذا الاسم، لأنها تقابل القيمة نفسها من التيار أو الجهد المستمر في قدرة التسخين، أي أنها قيمة التيار أو الجهد المستمر الذي يولد في مقاومة قدرة حرارية تساوي القدرة الحرارية التي يولدها الجهد أو التيار المتناوب. وكمثال على ذلك نقول، أن القيمة العظمى للجهد المتناوب الذي نحصل عليه من مأخذ التيار العام في المنزل تساوي (311) فولت، وهذا الجهد يعطي بالضبط المقدار نفسه من القدرة الحرارية التي يعطيها (220)فولت من الجهد المستمر (تحت نفس ظروف التجربة)، وبالتالي فإن القيمة الفعالة للجهد المتناوب في المنزل تساوي (220) فولت.

تعطى القيمة الفعالة للموجة الجيبية بالعلاقة الآتية:

$$\text{القيمة الفعالة} = \frac{\text{القيمة العظمى}}{\sqrt{2}} = 0.707 \times \text{القيمة العظمى}$$

يتعين العامل $\frac{1}{\sqrt{2}}$ أو 0.707 رياضياً باستخدام طريقة الجذر التربيعي لمتوسط مربع القيم اللحظية في موجة كاملة، لذا يطلق على القيمة الفعالة اسم قيمة جذر متوسط المربعات (Root Mean Square Value :RMS).

غالبا ما يلزمنا تحويل القيمة الفعالة إلى القيمة العظمى، وعند ذلك يجب استخدام المعادلة:

$$\text{القيمة العظمى} = \sqrt{2} \times \text{القيمة الفعالة} = 1.414 \times \text{القيمة الفعالة}$$

مـــثـــال

أن قيمة (220) الفولت متناوب التي نحصل عليها من مأخذ التيار العام في المنزل، ليست إلا قيمة الجهد الفعالة، احسب القيمة العظمى لهذا الجهد:

الحـــل

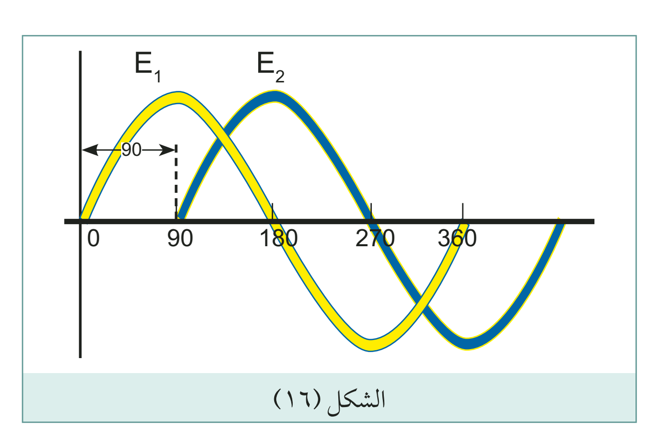
القيمة العظمى = 1.414x القيمة الفعالة

= 220 x 1.414

= 311 فولت

يرمز للقيمة الفعالة للجهد بالأحرف (V_{RMS})، أما القيمة الفعالة للتيار فيرمز لها بالأحرف (I_{RMS}). القيمة الأكثر استخداما في الحياة العملية، كما أن معظم أجهزة القياس للجهد والتيار تقيس هذه القيمة.

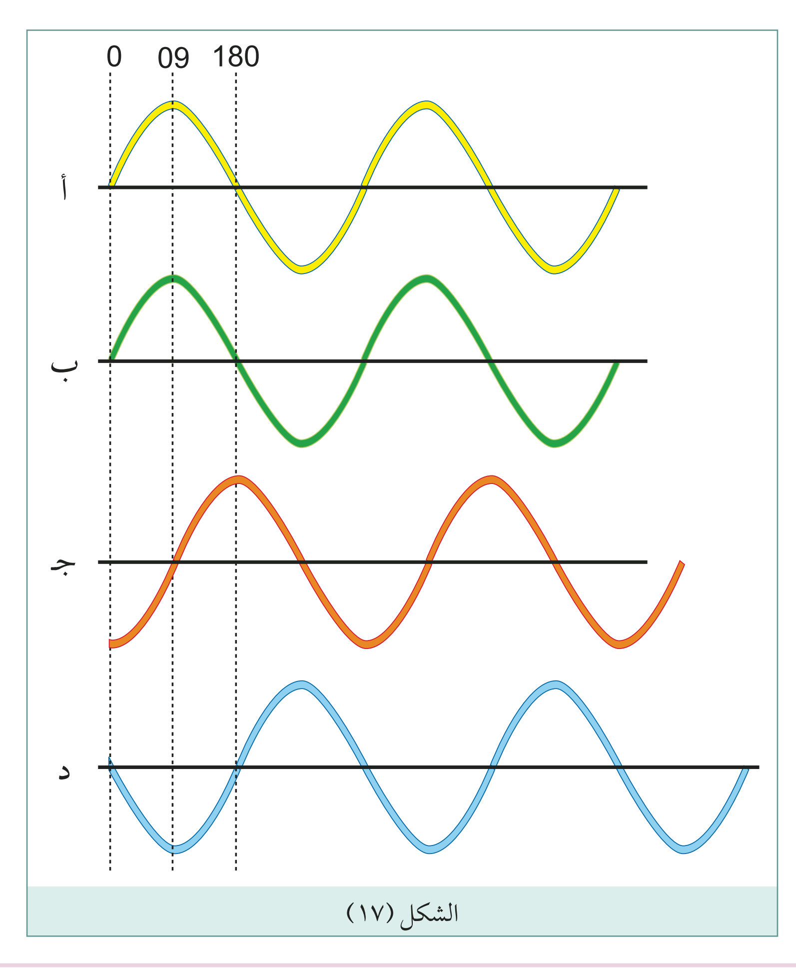
٥ زاوية الطور (Phase Angle)



الشكل (١٦)

أن القيم الثلاثة في الموجات الجيبية للجهد أو التيار المتناوب التي يمكن تغيرها هي : الاتساع والتردد والطور . فالطور هو عدد الدرجات الكهربائية التي تتقدم أو تتأخر بها موجة على موجة أخرى .

لتوضيح مفهوم الطور ، لنفرض أن لدينا مولدين متماثلين تماما لتوليد الجهد المتناوب ، كالمولد المبين في الشكل (١٦)، وأننا بدأنا بإدارة المولد (1) أولا ، وبعد مرور فترة من الزمن بدأنا بإدارة المولد (2) وبنفس السرعة التي أدرنا بها المولد (1) . لنفرض إن المولد (1) تحرك عبر زاوية مقدارها (90^o) عندما أدرنا المولد (2) ، فسيكون هناك فرق في زاوية الدوران بين المولدين مقدارها (90^o) في أي لحظة زمنية . وبذلك يمكن إن نقول إن الموجة الجيبية التي ينتجها المولد (1) تتقدم (Leads) على الموجة الجيبية التي ينتجها المولد (٢) بزاوية مقدارها (90^o)، أو إن موجة المولد (2(E2 تتأخر(Lag_s) على موجة المولد أ(E1) بزاوية مقدارها (90^o) ونبين في الشكل(19) موجتي الجهد للمولدين وزاوية فرق الطور بينهما . لتوضيح مفهوم زاوية فرق الطور أكثر ، نبين في الشكل (16) أربع موجات جيبية ذات اتساع وتردد واحد ، بينما تختلف فيما بينها بالطور .



الشكل (١٧)

إذا استخدمنا الموجة (أ) كمرجع لنقارن معها الموجات الأخرى ، فإن الموجة (ب) تكون متفقة معها تماما في الطور . أما الموجة (جـ) فإنها تقطع خط الصفر متأخرة عن الموجة بمقدار(90^o) ، وهكذا يقال أن الموجة (جـ) تتأخر عن الموجة(أ) بزاوية مقدارها (90^o) .

وأخيرا فإن الموجة (د) تقطع خط الصفر بعد الموجة (أ) بزاوية مقدارها (180^o) . ولذا يقال أن الموجة (د) تتأخر عن الموجة (أ) بزاوية مقدارها(180^o) . كما يمكن القول أن الموجة (د) تتعاكس تماماً في الطور مع الموجة (أ) .

أسئلة

١ بالرجوع الى الموجة الجيبية المبينة في الشكل (١٥) احسب القيم التالية :

أ القيمة العظمى .

ب القيمة المتوسطة .

ج القيمة الفعالة .

د قيمة القمة إلى القمة

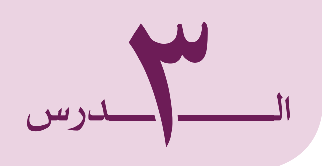
٢ موجة جهد جيبية قيمتها الفعالة تساوي (240) فولت ، احسب قيمتها العظمى ؟

٣ القيمة العظمى للجهد المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء تساوي (311) فولت ، احسب القيمة الفعالة لهذا الجهد ؟

٤ ردد التيار المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء يساوي (٥٠) هيرتز احسب الزمن الدوري لموجة هذا التيار .

٥ موجة ترددها (١٠٠) هيرتز ، احسب الزمن الدوري لهذه الموجة ؟

٦ موجة زمنها الدوري يساوي(٠,٢) ثانية ، احسب ترددهذه الموجة ؟



الـــدرس ٣

تحليل دارات التيار المتناوب

الممانعة السعوية والحثية:

مصدر الجهد المتردد، هو المصدر التقليدي للقدرة الكهربائية في حياتنا اليومية «في المنازل والمصانع»، فمعظم الأحمال الكهربائية مصممة للعمل على مصدر جهد متردد (AC)، وجه واحد او ثلاثة أوجه.

كثير من هذه الأحمال يعتمد في عمله على المغناطيسية وبعضها يعتمد على تخزين الشحنات وبالتحديد في مكثف تابع للحمل، إذا ليست جميع الأحمال الكهربائية لها طبيعة المقاومة بل بعضها له طبيعة الملف وبعضها الاخر له طبيعة المكثف.







الشكل (١): أحمال كهربائية مختلفة

إن معارضة سـريان التيار الكهربائي في دائرة تحتوي على ملف او مكثف او الاثنين معا تسـمى بالمفاعلة (Re-actance) ووحدتها الأوم. والمعارضة الكلية لسـريان التيار الكهربائي في دائرة التيار تحتوي على مقاومة تسـمى بالممانعه (Impedance) ووحدتها الاوم.

المفاعلة الحثية (Inductive Reactance):

يؤثر الملف على سريان التيار الكهربائي فقط عندما يتغير هذا التيار فينتج الملف قوة دافعة عكسية تعارض التغيير في التيار. في دوائر التيار المتغير يتغير التيار الكهربائي باستمرار وبشكل ثابت وبذلك يستمر الملف في انتاج قوة دافعة عكسية تعارض سريانه هذه المعارضة تسمى بالمفاعلة الحثية ويرمز لها بالرمز X_L.

تعتمد المفاعلة الحثية على:

١ قيمة الملف بالهنري.

٢ التردد وتعطى بالعلاقة التالية:

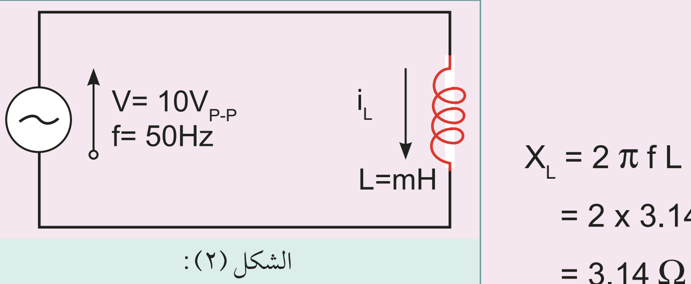
$$X_L = 2\pi f L$$

X_L = 2 x 3.14 x التردد x قيمة الملف

فكلما زاد التردد زادت المفاعلة الحثية للملف .



ملف حثيته 10 mH وصل مع مصدر جهد مقدارة 10Vp-p وتردده 50Hz أحسب مقدار التيار الفعال المار فيه؟



الشكل (٢) :

الحل

$$X_L = 2\pi f L$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 10 \times 10^{-3}$$

$$= 3.14\ \Omega$$

بعد معرفة قيمة المفاعلة الحثية يتم استخدام قانون أوم لإيجاد قيمة التيار المار في الملف .

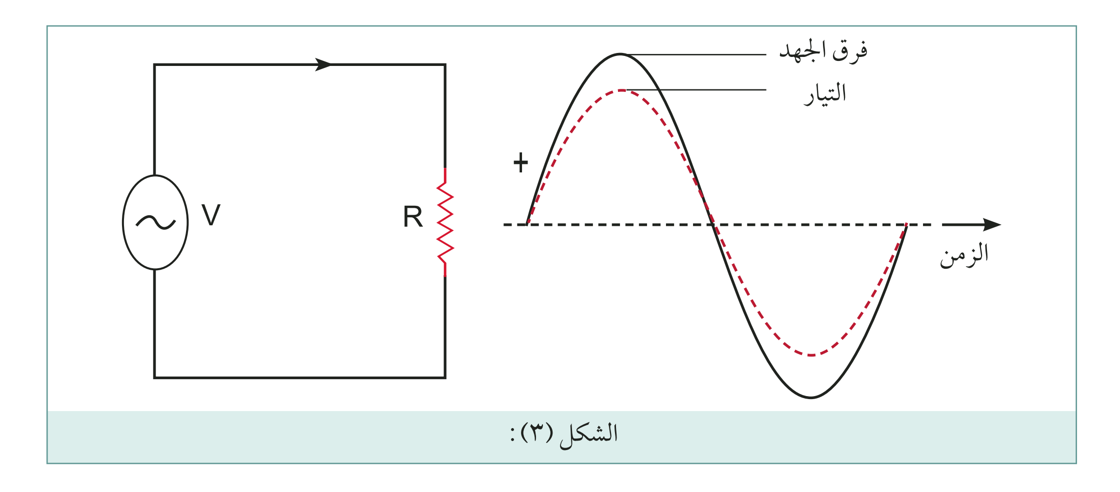
$$I = \frac{V_{rms}}{X_L}$$

$$V_{rms} = \frac{V_{p-p}}{2\sqrt{2}} = \frac{10}{2\sqrt{2}} = 3.536\ v$$

$$I = \frac{3.536}{3.14} = 1.13\ A$$

العلاقة بين الجهد والتيار في الدوائر الحثية:

لا يتغير التيار بنفس الوقت الذي يتغير فيه الجهد في الدائرة الحثية ولكن يتأخر وذلك حسب قيمة المحاثة . في دائرة تحتوي على مقاومة فقط يتغير التيار بنفس الوقت الذي يتغير فيه الجهد إذ يصل التيار لقيمته القصوى لحظة وصول جهد المصدر لقيمته القصوى . أي أن : $I_{max} = \frac{V_{max}}{R}$



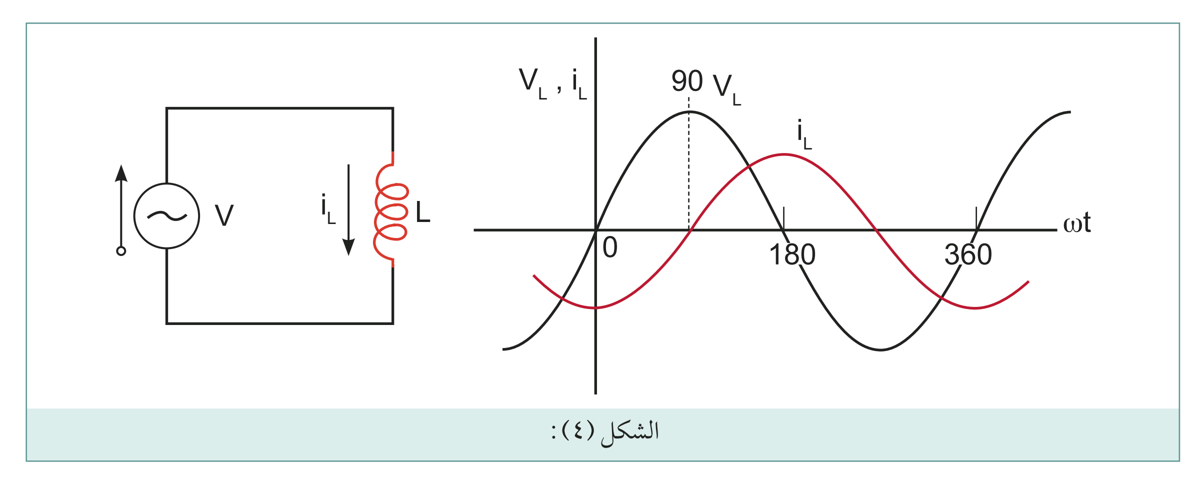
الشكل (٣) :

حتى الآن قمنا بتمثيل الجهود والتيارات بمنحنياتها البيانية (موجه جيبيه) ولكننا نستطيع ان نمثلها بخطوط مستقيمة ونحسب القيمة الكلية تماما كما تمثل القوى في الميكانيكا . هذه الخطوط المستقيمة تسمى بالمتجهات .

يعرف المتجه بانه خط مستقيم يستخدم لتمثيل كميةاو قوة بحيث يمثل طول المتجه مقدار هذه الكمية و زاويته تمثل مقدار ازاحه هذه الموجه بالنسبة لخط مستقيم .

ويمكن تمثيل العلاقة بين الجهد والتيار بالمتجهات كما يلي : I V

في الدائرة الحثية والتي تحتوي على ملفات فقط يتأخر التيار عن الجهد بزاوية مقدارها ٩٠° درجة كما في الشكل (٤):

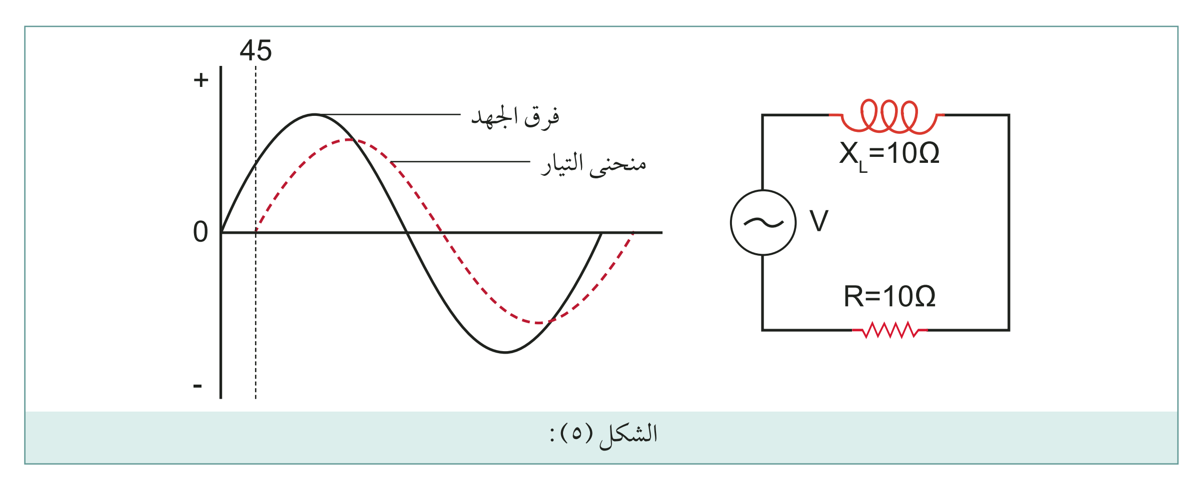


الشكل (٤):

ويمكن تمثيل العلاقة بين الجهد وتيار الملف بالمتجهات كما يلي : V 90 I

جميع الملفات تحتوي على مقاومات وبذلك يتأخر التيار عن الجهد بزاوية أكبر من صفر وأصغر من ٩٠° بحيث تقل هذه الزاوية كلما زادت المقاومة وتزيد هذه الزاوية كلما زادت المفاعلة الحثية بحيث تصل في حدها الأعلى الى ٩٠° عندما تكون قيمة المقاومة صفراً .

وتسمى هذه الزاوية بزاوية الازاحه (Phase Shift) .



الشكل (٥):

في الدائرة أعلاه تكون زاوية الإزاحة ٤٥° وذلك لتساوي المفاعلة الحثية مع المقاومة .

ولحساب الممانعة الكلية للدائرة الحثية (مقاومة وملف) يتم ذلك بالاعتماد على نظرية فيثاغورس وذلك لوجود ٩٠° بين المقاومة و المفاعلة الحثية .

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

بالاعتماد على القيم المعطاه في الدائرة السابقة أوجد قيمة التيار الفعال المار في الدائرة وزاوية الازاحه بين جهة المصدر والتيار .

١ يتم أولا إيجاد قيمة الممانعة الكلية للدائرة :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{200} = 14.1421\Omega$$

٢ يتم استخدام قانون أوم لإيجاد قيمة التيار الكلي :

$$V = Z \times I$$

$$I = \frac{V}{Z}$$

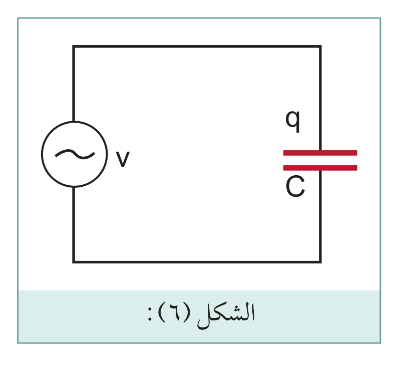
$$I = \frac{10}{14.1421} = 0.71 \text{ Amp}$$

٣ في الدائرة الحثية يتأخر التيار عن الجهد وتسمى الزاوية بينهما بزاوية الازاحه (Phase shift)

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X_L}{R} = \tan^{-1}\frac{10}{10} = 45^\circ$$

المفاعلة السعوية:

الرسم التالي يبين مكثف موضوع على أطراف جهد متردد :



الشكل (٦):

الشحنة على أطراف المكثف تتناسب دائما مع قيمة جهد المصدر

$$q = Cv$$

إذ تتغير قيمة شحنة المكثف مع التغير الدائم في جهد المصدر . حيث يمر تيار شحن في الدائرة للمكثف أثناء تزايد جهد المصدر ويمر تيار تفريغ في الدائرة للمكثف أثناء تناقص جهد المصدر .

بما أن جهد المصدر المتردد دائم التغير في القيمة والاتجاه وبما ان شحنة المكثف تتناسب مع جهد المصدر، يمر تيار متردد في الدائرة بسبب توالي عمليات الشحن والتفريغ وتواصلها.

$$q = Cv$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$i = \frac{cdv}{dt}$$

الشكل (٧):

تعلمنا سابقا بان التيار المتغير هو عبارة عن موجه جيبية حيث تتغير قيمة الجهد مع الزمن ويمكن تمثيل الجهد بدالة الجيب.

$$V(t) = V_m \sin \omega t$$

$$\frac{d\,v(t)}{dt} = V_m\, \omega \cos \omega t$$

$$i(t) = c\,\frac{d\,v(t)}{dt}$$

$$i(t) = c\,V_m\, \omega \cos \omega t$$

$$I_m = c\, \omega\, v_m$$

$$X_c = \frac{V_m}{I_m} = \frac{1}{\omega c}$$

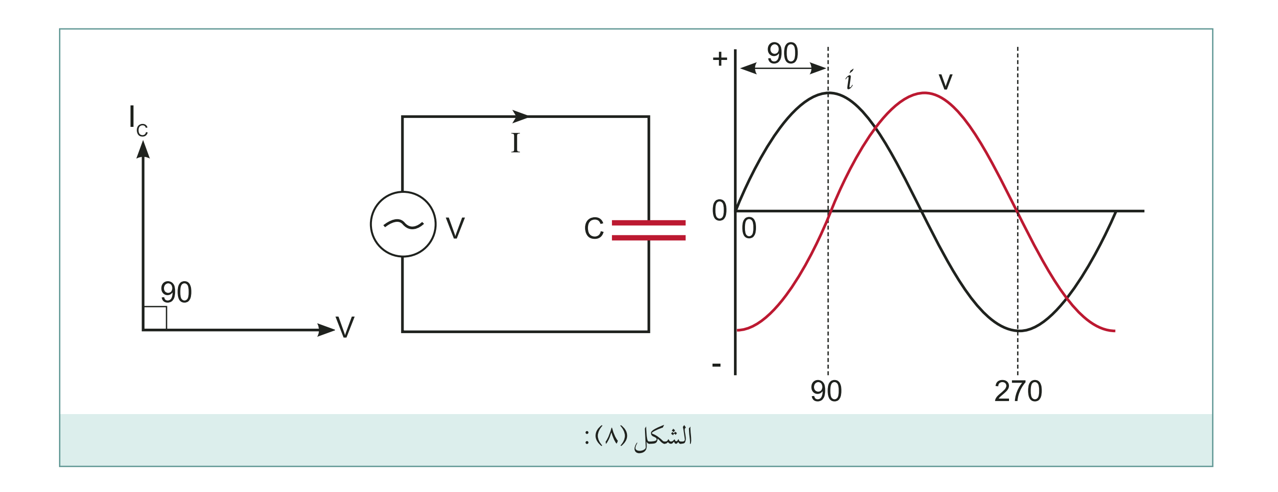
X_c هي عبارة عن المفاعلة السعوية للمكثف وتقاس بالاوم.

$$X_c = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi fc}$$

نلاحظ بأنه كلما زادت سعة المكثف قلت المفاعلة السعوية كذلك تعتمد المفاعلة السعوية على التردد فكلما زاد التردد قلت المفاعلة السعوية.

العلاقة المتجه بين الجهد والتيار في الدائرة السعوية:

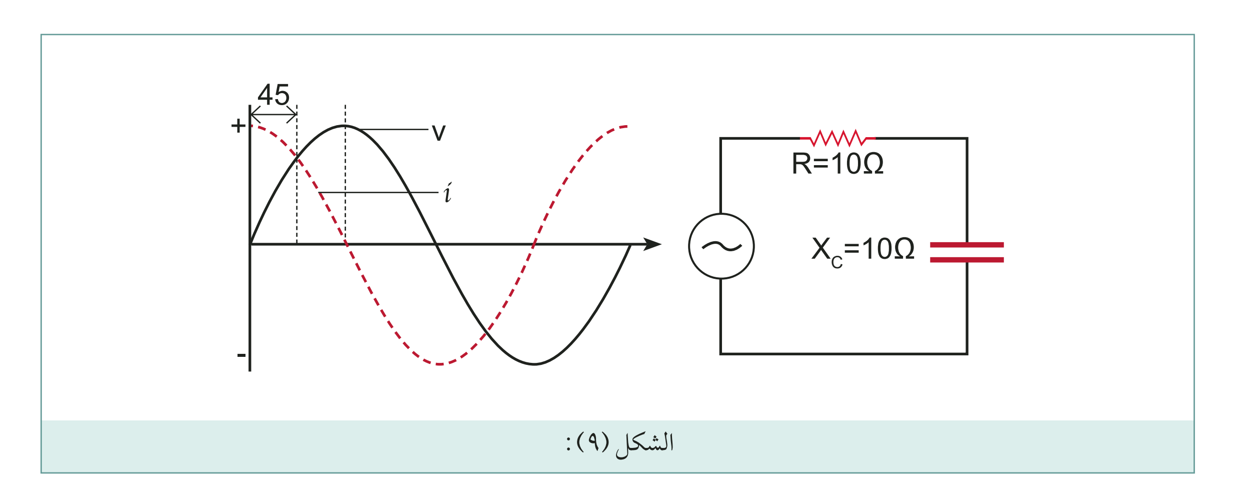
زاوية الإزاحة بين الجهد والتيار في الدائرة السعوية هي بعكس الدائرة الحثية تماما، حيث يسبق التيار الجهد بزاوية مقدارها ٩٠°.



الشكل (٨) :

في الدوائر السعوية هناك قدر قليل من المقاومة (R) وبذلك يسبق التيار الجهد بزاوية تتراوح بين دائرة تحتوي على مقاومة فقط أي زاوية ازاحة تساوي صفرا ودائرة تحتوي على مكثف فقط بزاوية ازاحه مقدارها 90° .

عندما تتساوى المقاومة مع المفاعلة السعوية يسبق التيار الجهد بزاوية مقدارها 45° .



الشكل (٩) :

ولحساب الممانعة الكلية يتم ذلك بالاعتماد على نظرية فيثاغورس لوجود زاوية مقدارها ٩٠° بين المقاومة والمفاعلة السعوية.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

R

θ

X_C

Z

مـــثـــــال

في الدائرة السابقة، اذا كان جهد المصدر يساوي 10V :

١ أوجد قيمة التيار الكلي المار في الدائرة؟

٢ أوجد زاوية الإزاحة بين الجهد والتيار؟

الحــــــــل

١ يتم حساب الممانعة الكلية للدائرة

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{200} = 14.142\ \Omega$$

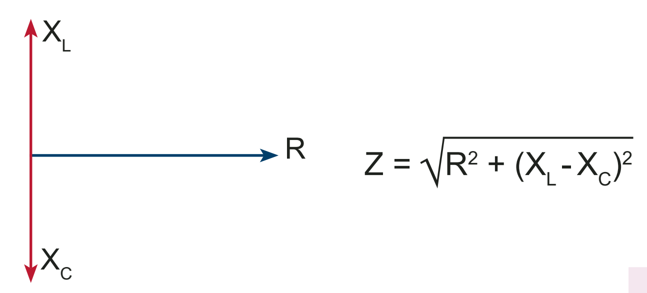
٢ بالاعتماد على قانون أوم:

$$V = Z\, I$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{14.142} = 0.71\ Amp$$

٣ بما أن الدائرة سعوية فان التيار يسبق الجهد بزاوية مقدارها

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X_C}{R} = \tan^{-1}\frac{10}{10} = 45^\circ$$



$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

القدرة في دوائر التيار المتغير:

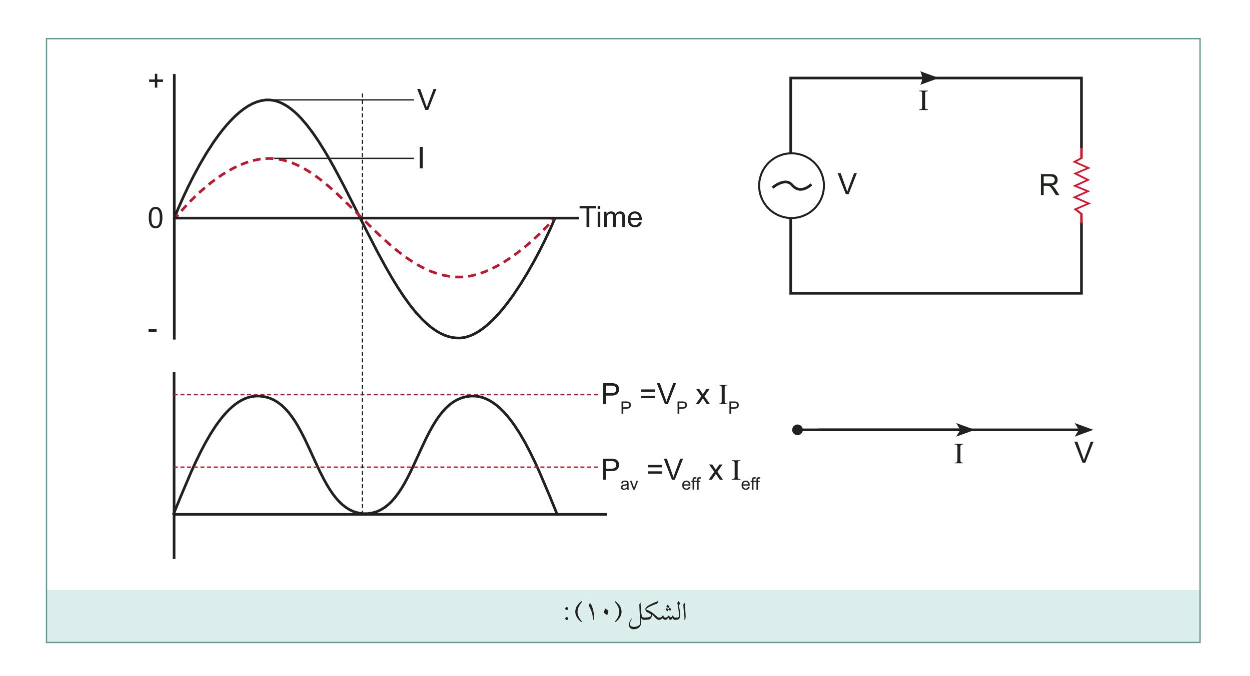
القدرة المستهلكه في مقاومة مادية تتحول الى شكل اخر من أشكال الطاقة مثل الحرارة، الضوء، . . . ولا ترجع للمصدر. تسمي بالقدرة الحقيقية (True/ Active power) ويرمز لها بالرمز (P) وهي عبارة عن معدل انتقال الطاقة من مصدر جهد متردد الى حمل. إن الطاقة المخزنة على شكل مجال مغناطيسي في ملف او مجال كهربائي على صفائح مكثف تعود للمصدر عندما يغير التيار اتجاهه وتسمى هذه الطاقة بالطاقة غير الفعاله أو الخيالية (Reactive/ Imaginary power) ويرمز لها بالرمز (Q).

أما القدرة الكلية فهي عبارة عن جمع متجه للقدرة الفعالة (P) وغير الفعاله (Q) وتسمى بالقدرة الظاهرية (Apparent power) ويرمز لها بالرمز (S).

القدرة الحقيقية:

وهي معدل انتقال الطاقة الكهربائية من مصدر جهد متردد الى حمل وتتحول هذه الطاقة الكهربائية الى وجه اخر للطاقة، حراري ضوئي، ميكانيكي . . . . وكمثال على ذلك السخان الكهربائي تتحول القدرة الكهربائية

تماما الى حرارة.



الشكل (١٠):

القدرة الحقيقية المستهلكة والمتحولة إلى حرارة في السخان تساوي المعدل الزمني للقدرة اللحظية، أي أن:

$$P = V I$$

V: الجهد الفعال للمصدر.

I: القيمة الفعالة للتيار المار في الحمل.

ووحدة قياسها الواط (Watt) وتقاس كذلك بوحدة الحصان الميكانيكي.

مـــثـــال

أوجد القدرة الحقيقية المستهلكة في سخان يعمل على 220 v ويمرر تيار مقدارة 10A؟

الحـــل

$$P = V I$$

$$= 220 \times 10$$

$$= 2200 \text{ watt}$$

القدرة غير الفعالة (الخيالية):

بعض العناصر الكهربائية لها خاصية التخزين اي تخزين الطاقة كالمكثف والملف وعند توصيلها مع مصدر جهد متردد، تنتقل الطاقة الكهربائية بين المصدر والحمل في حركة ذهاب واياب دون تحويلها لوجه اخر من الطاقة. يمر تيار بين المصدر والحمل ويكون هناك جهد كهربائي ولكن القدرة لا تستهلك فعلا. فيعتبر العنصر

حملا وهميا، ويعتبر حاصل ضرب القيمة الفاعلة للجهد بالقيمة الفاعلة للتيار في هذه الحالة قدرة خيالية اي ليست حقيقية. ويرمز لها بالرمز (Q).

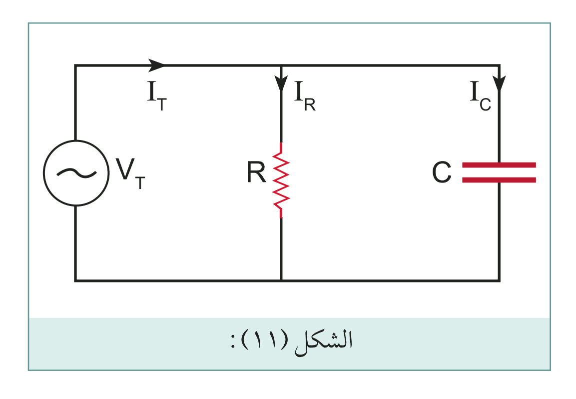
ووحدة قياسها الفولت أمبير غير الفعال (VAR).

$$Q = V \times I$$

V: الجهد الفعال للمصدر

I: القيمة الفاعلة للتيار المار في الملف أو المكثف

القدرة الظاهرية:



الشكل (١١):

في الحالة العامة لا يمكن التاكد بان القدرة الحقيقية التي يستهلكها او يحولها هذا الحمل تساوي حاصل ضرب جهد المصدر بتيار الحمل. فقد يحتوي هذا الحمل على مكثف او ملف او الاثنين معا، أي وسيلة اختزان طاقة لذلك يسمى حاصل الضرب $S = V_T\, I_T$ في الحالة العامة بالقدرة الظاهرية ووحدة قياسها هي الفولت أمبير.

من الواضح أيضا ان القدرة الحقيقية المنتقله من المصدر الى الحمل المركب يساوي $P = V \times I_R$ وتكون المقاومة هي العنصر المستهلك للقدرة في الدائرة، بينما يكتفي المكثف باخذ كميه طاقة من المصدر ثم ارجاعها بشكل متكرر. بالمقارنة القدرة الظاهرية في الدائرة تساوي $S = V_T\, I_T$ وهذا الرقم لا يمثل القدرة المنتقله حقيقة على أرض الواقع لان التيار I_T المار في المصدر اكبر من التيار المار في المقاومة I_R وذلك لان التيار I_T يتضمن بالاضافة لتيار المقاومة تيار الشحن والتفريغ التكراري للمكثف.

الرسم التالي يبين العلاقة الاتجاهية بين جهد المصدر، تيار المقاومة وتيار المكثف والتيار الكلي المار في الدائرة.

الشكل (١٢):

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \qquad \theta = \tan^{-1}\frac{X_C}{R}$$

بالاعتماد على نظرية فيثاغورس، من الواضح أن:

$$I_R = I_T \cos\theta$$

$$I_C = I_T \sin\theta$$

وبالتعويض نجد أن:

١ القدرة الحقيقية:

$$P = V_T\, I_R$$

$$= V_T\, I_T \cos\theta$$

٢ **القدرة الخيالية:**

$$Q = V_T I_C$$
$$= V_T I_T \sin\theta$$

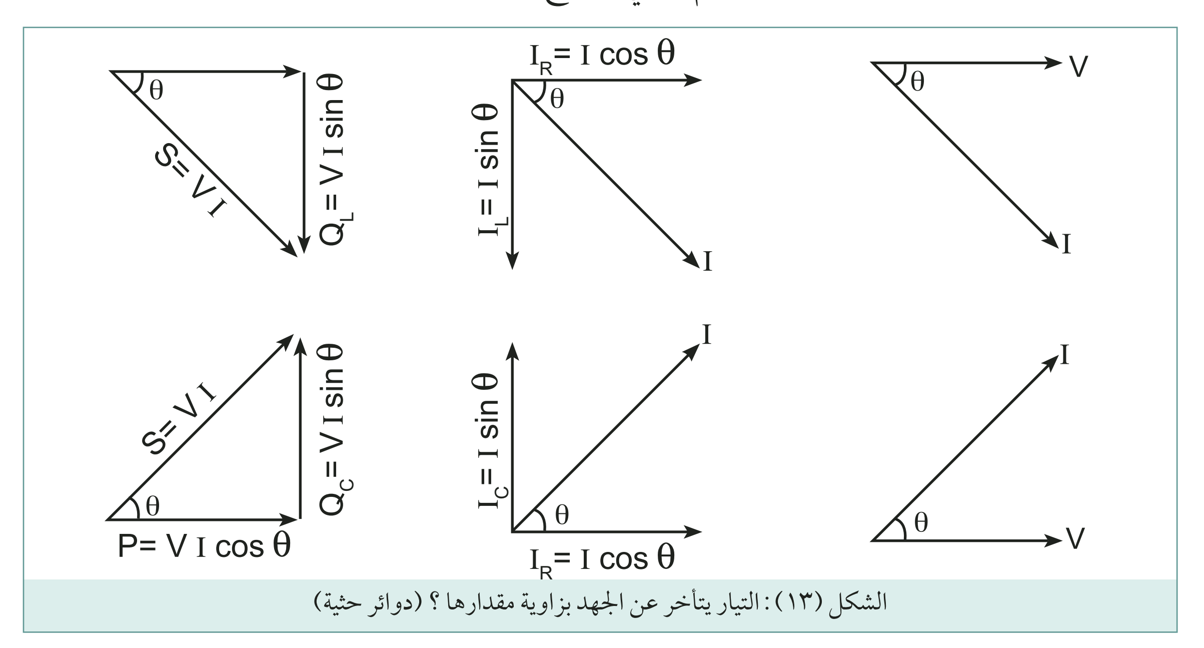
٣ **القدرة الظاهرية:**

$$S = V_T I_T$$

الزاوية θ هي الزاوية بين جهد المصدر والتيار الكلي للدائرة ويسمى جيب تمام هذه الزاوية بمعامل القدرة ($PF=\cos\theta$) وتعتمد قيمة هذه الزاوية وبالتالي معامل القدرة على مكونات الدائرة الكهربائية ففي حالة المقاومة المادية حيث θ = صفرا، فان جتا θ =1 وتكون القدرة الفعالة $P = V I$.

وفي حالة الملف حيث θ = – 90درجة، جتا θ = صفرا، وتكون القدرة الفعاله صفرا وفي حالة المكثف θ = 90 درجة جتا θ = صفراً، وتكون القدرة الفعاله صفراً.

وتتراوح قيمة معامل القدرة في الدوائر المركبة بين الصفر والواحد صحيح ويقال له متقدما اذا كانت الدائرة سعوية ومتاخرا اذا كانت الدائرة حثية . والرسم التالي يوضح ذلك .



الشكل (١٣) : التيار يتأخر عن الجهد بزاوية مقدارها ؟ (دوائر حثية)

نلاحظ أن العلاقة الاتجاهية أعلاه بان القدرة غير الفعاله في المكثف تعاكس القدرة غير الفعاله في الملف.
من ذلك نستنتج بانه يمكن وبسهولة التخلص من القدرة غير الفعاله للملف في الدائرة باضافة مكثف لها وهذا ما يسمى بتحسين معامل القدرة والاقتراب به من الواحد صحيح .

توصيل مقاومة، ملف، ومكثف على التوالي Series R-L-C circuit:

دوائر التيار المتغير تحتوي في الغالب على مقاومة، ملف، ومكثف في الدائرة الحثية التيار يتأخر عن الجهد بزاوية مقدارها ٩٠° وفي الدوائر السعويج يسبق التيار الجهد بزاوية مقدارها °90، وعليه فان الزاوية بين المفاعلة

الحثية والمفاعلة السعويه هي 180° وبذلك فان اي من المفاعلتين ستلغي الاخرى او اجزاء منها :

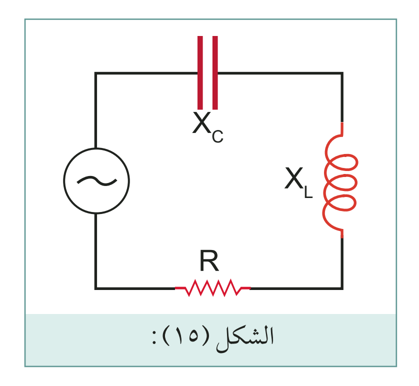
الشكل (١٤):

في دوائر التاير المتغير:

١ دائرة مقاومة اذا كانت $X_L = X_C$

٢ دائرة حثية اذا كانت $X_L > X_C$

٣ دائرة سعوية اذا كانت $X_C > X_L$



الشكل (١٥):

ممانعة الدارة الكهربائية في المحصلة النهائية للممانعة التي تبديها عناصر تلك الدارة لمرور التيار الكهربائي بها ويرمز لها بالرمز (Z) وتقاس بوحدة الأوم، وبالاعتماد على نظرية فيثاغورس فانه يمكن ايجاد الممانعه الكليه حسب المعادلة :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

وتعطي قيمة التيار حسب قانون أوم

$$V = Z\,I$$

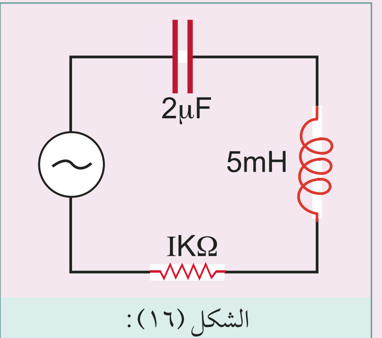
$$I = \frac{V}{Z}$$

حيث V, I هي القيم الفعال للجهد والتيار .


مــــثـــــال

أوجد الممانعة الكلية وقيمة التيارالمار في الدائرة؟

الحـــــــل



الشكل (١٦):

لايجاد الممانعه الكلية يتم اولا ايجاد المفاعلتين الحثية والسعوية :

$$X_L = 2\pi FL$$

$$= 2 \times \pi \times 50 \times 5 \times 10^{-3}$$

$$= 1.571\ \Omega$$

$$XC = \frac{1}{2\Pi FC}$$

$$= \frac{1}{2 \times \Pi \times 50 \times 2 \times 10^{-6}}$$

$$= 1591.55\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$= \sqrt{(1000)^2 + (1.571 - 1591.55)^2}$$

$$= \sqrt{(1000)^2 + (-1589.98)^2}$$

$$= \sqrt{1000000 + 2528033.22}$$

$$Z = \sqrt{3528033.22} = 1878.31\ \Omega$$

$X_L=1.571$

90° R = 1000Ω

90°

$X_C=1591.55$

الشكل (١٧):

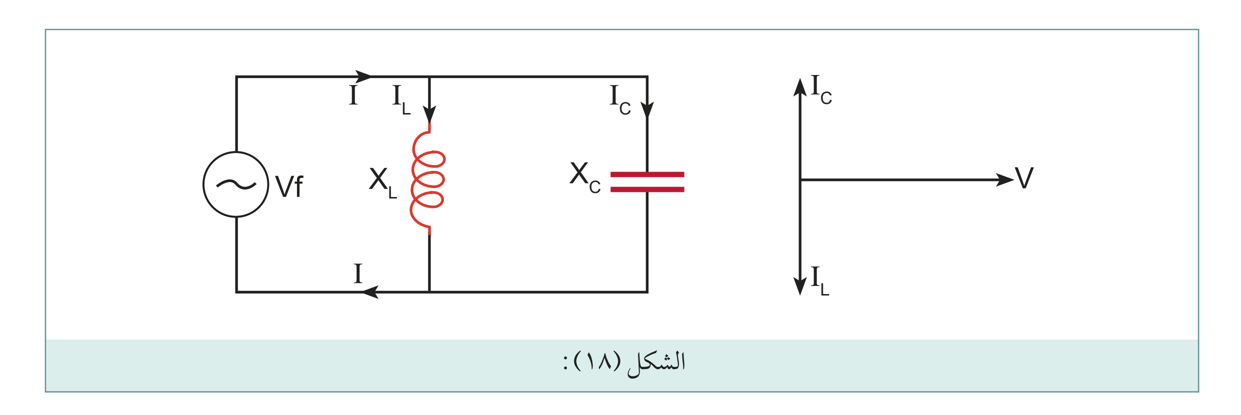
الدائرة سعوية التيار يسبق الجهد وذلك لان $X_C > X_L$

باستخدام قانون أوم يتم إيجاد قيمة التيار الفعال المار في الدائرة

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{1878.31} = 0.117\ A$$

الرنين (Electrical resonance)

ظاهرة الرنين بين ملف ومكثف موصولين على التوازي تعني في الواقع عملة انتقال الطاقة ذهابا وإيابا بينهما .



الشكل (١٨):

تميل هذه الدائرة للتصرف كمكثف إذا كان تيار المكثف فيها اكبر من تيار الملف

الشكل (١٩):

وتميل للتصرف كملف عندما يكون تيار الملف فيها اكبر من تيار المكثف.

الشكل (٢٠):

وتميل للتصرف (في الحالة المثالية) كمقاومة لانهائية عندما يتساوى تيارا الملف والمكثف بحيث لا يمر تيار في المصدر نهائيا (دائرة مفتوحة) وتسمى هذه الحالة بالرنين (Resonance)، حالة الرنين إذا هي حالة تساوي تيار المكثف وتيار الملف وهذا يعني بالتالي تساوي ممانعة الملف وممانعة المكثف ومنها يمكن إيجاد قيمة تردد الرنين.

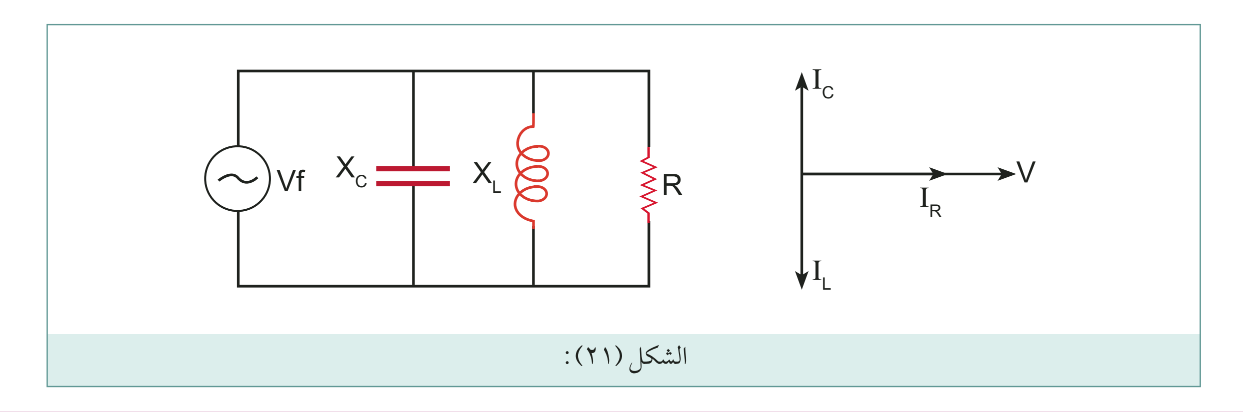
$$X_L = 2\pi f L \quad , \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_L = X_C \quad , \quad 2\pi f L = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$4\pi^2 f^2 L C = 1$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

عند توصيل مقاومة على التوازي مع الملف والمكثف كما في الشكل تحدث حالة الرنين هنا عند تساوي تيار الملف وتيار المكثف ونظرا لاتجاهاتهما المضادة لبعضهما البعض تكون الدائرة مكافئة فقط للمقاومة فيها (في حال الرنين) $Z_T = R$.



الشكل (٢١):

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

وبالاعتماد على نظرية فيثاغورس :

$$I_R = \frac{V}{R}, \quad I_L = \frac{V}{X_L}, \quad I_C = \frac{V}{X_C}$$

$$I_T^2 = I_R^2 + (I_L - I_C)^2$$

$$I_T^2 = \frac{V^2}{R^2} + \left(\frac{V}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2$$

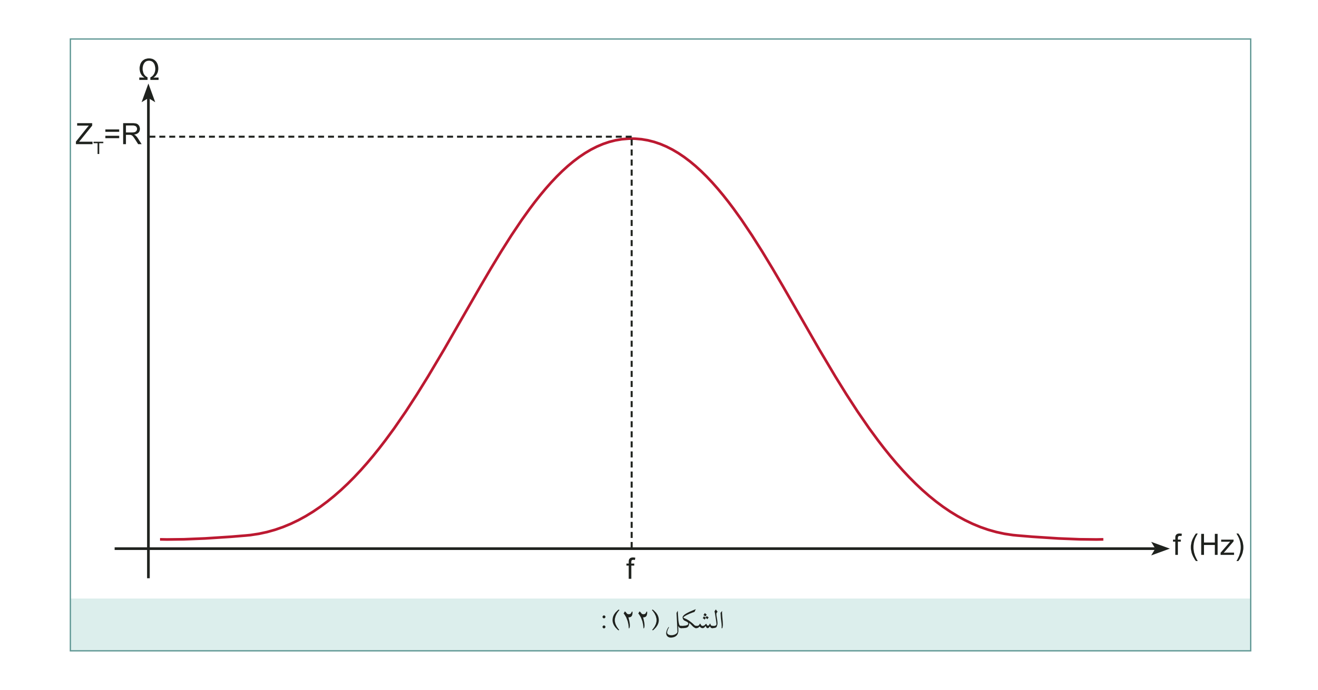
$$I_T^2 = V^2 \left(\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2\right)$$

$$\frac{V^2}{I^2} = \frac{1}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

$$\frac{V}{I} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

$$Z_T = \frac{1}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{2\pi FL} - 2\pi FC\right)^2}$$

عند رصد تغيير الممانعة بالنسبة لتردد المصدر نجدها كما هو مبين بالرسم التالي :



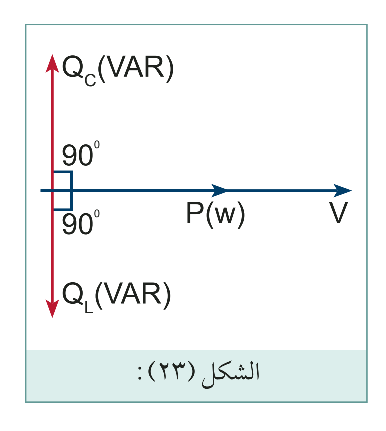
الشكل (٢٢):

نلاحظ بان الممانعة دائما محددة وتصل لأقصى قيمة لها وهي R عند تردد الرنين

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

ومن الأمثلة على دوائر الرنين دائرة تحسين معامل القدرة حيث يكون الرنين عند معامل قدرة يساوي واحد صحيح وتكون الممانعة الكلية مساوية فقط للمقاومة الحقيقية في الدائرة. ويمر أقل تيار ممكن عبر المصدر.

تحسين معامل القدرة



الشكل (٢٣):

بداية لابد من تذكر الملاحظات التالية:

١ القدرة غير الفعالة للمكثف تعاكس القدرة غير الفعالة للملف وبذلك فان أي من القدرتين ستلغي الأخرى أو أجزاء منها.

٢ بالاعتماد على قانون اوم $V = IR$ فانه يمكن كتابة معادلات القدرة على النحو التالي:

$$P = I^2 R , \qquad P = \frac{V^2}{R} \text{ (Watt)}$$

$$Q = I^2 X , \qquad Q = \frac{V^2}{X} \text{ (VAR)}$$

$$S = I^2 Z , \qquad S = \frac{V^2}{Z} \text{ (VA)}$$

٣ معظم الأحمال الكهربائية أحمال حثية وخصوصا المحركات ويمكن تمثيلها بمقاومة وملف

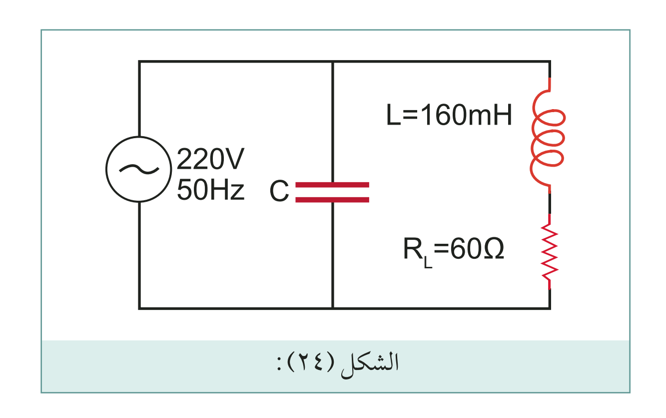
حمل =

٤ تتراوح قيمة معامل القدرة بين 0.1 وذلك حسب قيمة جيب تمام الزاوية بين الجهد الكلي والتيار الكلي للدائرة الحثية فكلما اقترب معامل القدرة من 1 صحيح قلت قيمة القدرة الضائعة في الملف، بمعنى

معامل القدرة يساوي 60% يعطي قدرة ضائعة 40% من القدرة الكلية . ومعامل قدرة يساوي 85% يعطي قدرة ضائعة 15% من القدرة الكلية . أيهما أفضل؟

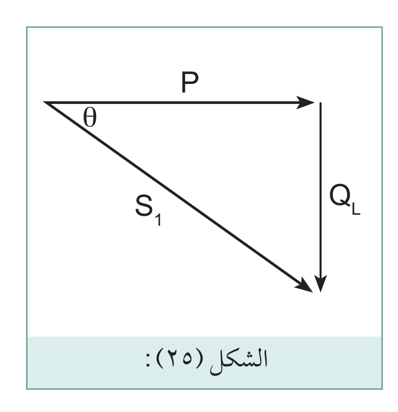
- من هنا تبرز الحاجة لتحسين معامل القدرة وذلك توفيرا للطاقة الكهربائية الضائعة في المصانع والورش إلى غير ذلك من الأحمال الحثية المستخدمة في حياتنا اليومية .
- إن تحسين معامل القدرة يتم عن طريق إضافة مكثف على التوازي مع الحمل الحثي ولكن ما هي سعة هذا المكثف الواجب إضافته للحمل؟

للإجابة على هذا السؤال سنستخدم المثال التالي :



الشكل (٢٤):

أوجد سعه المكثف الواجب إضافته للدائرة أعلاه لتحسين معامل القدرة ورفعه إلى 0.95؟



الشكل (٢٥):

$$Z_T = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

$$X_L = 2\pi FL = 2\pi \times 50 \times 160 \times 10^3 = 50.27\ \Omega$$

$$Z_T = \sqrt{(60)^2 + (50.27)^2} = 78.28\ \Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{Z_T} = \frac{220}{78.28} = 2.81\ \text{Amp}$$

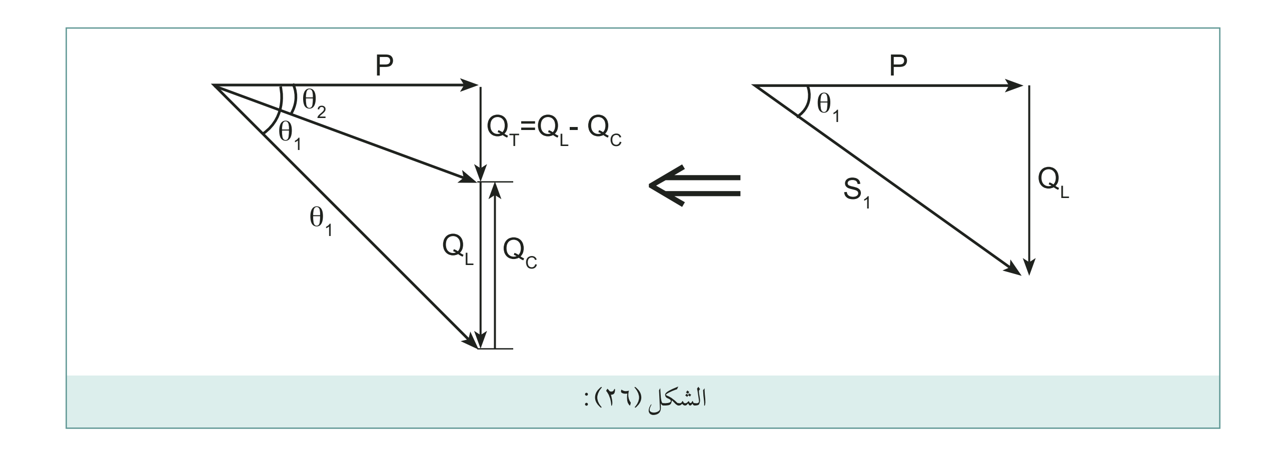
$$S_1 = V_T\, I_T = 220 \times 2.81 = 618.2\ (VA)$$

$$Q_L = I^2 X_L = (2.81)^2 \times 50.27 = 396.94\ (VAR)$$

$$P_1 = I^2 R = (2.81)^2 \times 60 = 473.77\ W$$

وفيها يتم إيجاد معامل القدرة للدارة قبل التحسين .

$$\cos\theta_1 = \frac{P}{S} = \frac{473.77}{618.2} = 0.77$$



الشكل (٢٦):

$$\text{Cos } \theta_2 = 0.95$$

بما أن القدرة الحقيقية لم تتغير بعد التحسين

$$P_2 = P_1 = 473.77 \text{ w}$$

$$\text{Cos } \theta_2 = \frac{P_2}{S_2}$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\text{Cos } \theta_2} = \frac{473.77}{0.95} = 498.71 \text{ (VA)}$$

$$Z^2 = \sqrt{P_2^{\ 2} + Q_T^{\ 2}}$$

$$Q_T = Q_L - Q_C$$

$$498.71 = \sqrt{(473.77^2 + Q_T^{\ 2}}$$

$$Q_T = \sqrt{(473.77)^2 + (473.77)^2} = 155.74 \text{ (VAR)}$$

$$Q_T = Q_L - Q_C$$

$$155.74 = 396.94 - Q^C$$

$$Q^C = 396.94 – 155.74 = 241.2 \text{ (VAR)}$$

بما أن المكثف موصول على التوازي مع المصدر فان جهد المكثف يساوي جهد المصدر ويساوي 220 V

$$Q_C = \frac{V^2}{X_C} \qquad , \qquad X_C = \frac{V^2}{Q_C}$$

$$X_C = \frac{(220)^2}{241.2} = 200.66\ \Omega \qquad , \qquad X_C = \frac{1}{2\ \pi\ FC}$$

$$= \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 200.66} \qquad = 1.586 \times 10^{-5} \text{ F} = 15.86\ \mu\text{F}$$

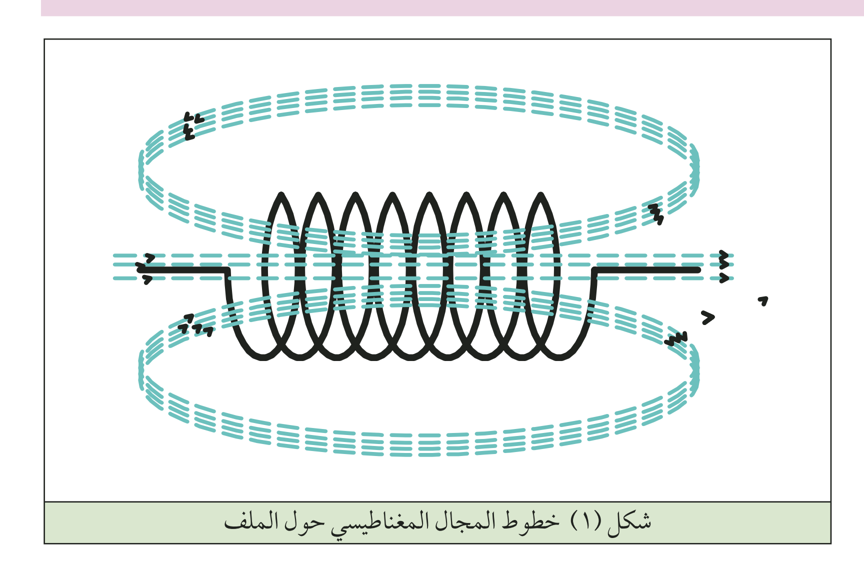
الـــــدرس ٤

الملفات

الملفات هي إحدى عناصر الدارات الإلكترونية و الكهربائية كثيرة الإستخدام، فلا يكاد يخلو منها جهاز الكتروني كالكمبيوتر، التلفاز، الراديو، المسجل، جهاز الهاتف الثابت والنقال، ولا جهاز كهربائي كالثلاجة، المروحة، الغسالة والخلاط. تعددت استخدامات الملفات، أحجامها و أشكالها. ماهو الملف وما هو مبدأ عمله؟

الملف والحث الذاتي:

عند لف سلك كهربائي معزول على قلب هوائي او قلب حديدي أو قلب فيرايت (برادة الحديد) أو أي مادة أخرى نحصل على ما يسمى بالملف. عندما يسري تيار كهربائي في سلك الملف، يتولد مجال مغناطيسي حول الملف تتناسب شدته مع شدة التيار الكهربائي المار في الملف كما في الشكل (١).



شكل (١) خطوط المجال المغناطيسي حول الملف

وهكذا فان الملف يعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة مغناطيسية يختزنها داخل المجال المغناطيسي المحيط به والذي يمكن تركيزه في القلب. عند حدوث تغيير (زيادة او نقصان) في شدة التيار الكهربائي المار في ملف، ينعكس ذلك على شدة المجال المغناطيسي المنتشر حول هذا الملف. فعندما تزداد شدة التيار المار في الملف، تزداد شدة المجال المغناطيسي. وعندما تنخفض شدة التيار تقل شدة المجال المغناطيسي. إن التغير في شدة المجال المغناطيسي يمكن تخيله على شكل وجود خطوط مجال مغناطيسي متحركة تقطع لفات الملف نفسه، و حسب قانون فارادي فان هذا يؤدي إلى توليد قوه دافعة كهربائية تأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تياركهربائي ذو اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيارالأصلي المار في الملف. اتجاه هذا التيار يعطى حسب قانون لينز الذي ينص على أن " القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية تولد تيارا يعمل على توليد مجال مغناطيسي يعاكس تأثير المجال المغناطيسي الذي أدى إلى توليد هذا التيار".

فمثلا إذا تناقصت شدة التيار الأصلي، تعمل قطبية القوه الدافعة الكهربائية التأثيرية على توليد تيار بنفس اتجاه التيار الأصلي و بالتالي محاولة منع تناقص التيار الأصلي. وإذا تزايدت شدة التيار الأصلي، تعمل قطبية القوه الدافعة الكهربائية التأثيرية على توليد تيار بعكس اتجاه التيار الأصلي و بالتالي محاولة منع تزايد التيار الأصلي.

ان الظاهرة التي تعمل على منع التغير في شدة التيار الكهربائي المار في الملف تسمى بالحث الذاتي للملف ويرمز لمعامل الحث الذاتي بالرمز L. هذا و يمكن تعريف الحث الذاتي بطريقة أخرى بأنه عندما تتغير شدة المجال المغناطيسي خلال دائرة كهربائية فانه يتولد فيها قوة محركة كهربائية تأثيرية يتناسب مقدارها مع معدل تغير التدفق بالنسبة للزمن.

يقاس الحث الذاتي للملف بوحدة قياس تسمي هنري (Henry) نسبة إلى العالم الامريكي (Joseph Henry) و يعرف الهنري بأنه الحث الذاتي لملف تتولد فيه قوة محركة كهربائية تأثيرية مقدارها ١ فولت عندما تتغير شدة التيار المار فيه بمعدل ١ أمبير/ ثانية. ويختلف المدى المستخدم لقيمة الحث في الدارات الإلكترونية من ميكروهنري للملفات المستخدمة في أجهزة الإتصالات ذات الترددات العالية إلى عدة مئات من وحدات الهنري للملفات المستخدمة في شبكات القوى. وعليه فان الهنري وحدة كبيرة بالنسبة للدارات الالكترونية ولهذا فاننا نستخدم أجزاء الهنري، وهي:

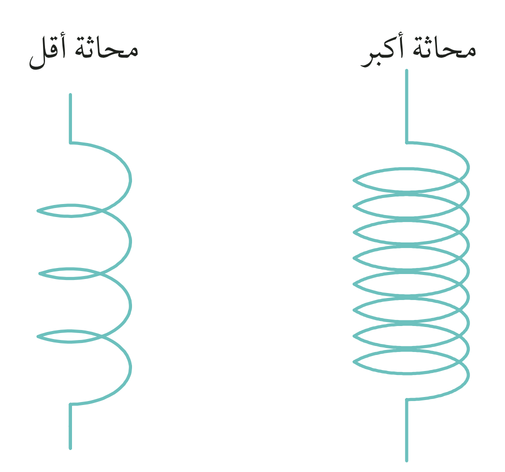
- الميلي هنري (mH) ويساوي 10^{-3} هنري.
- الميكرو هنري (µH) ويساوي 10^{-6} هنري.

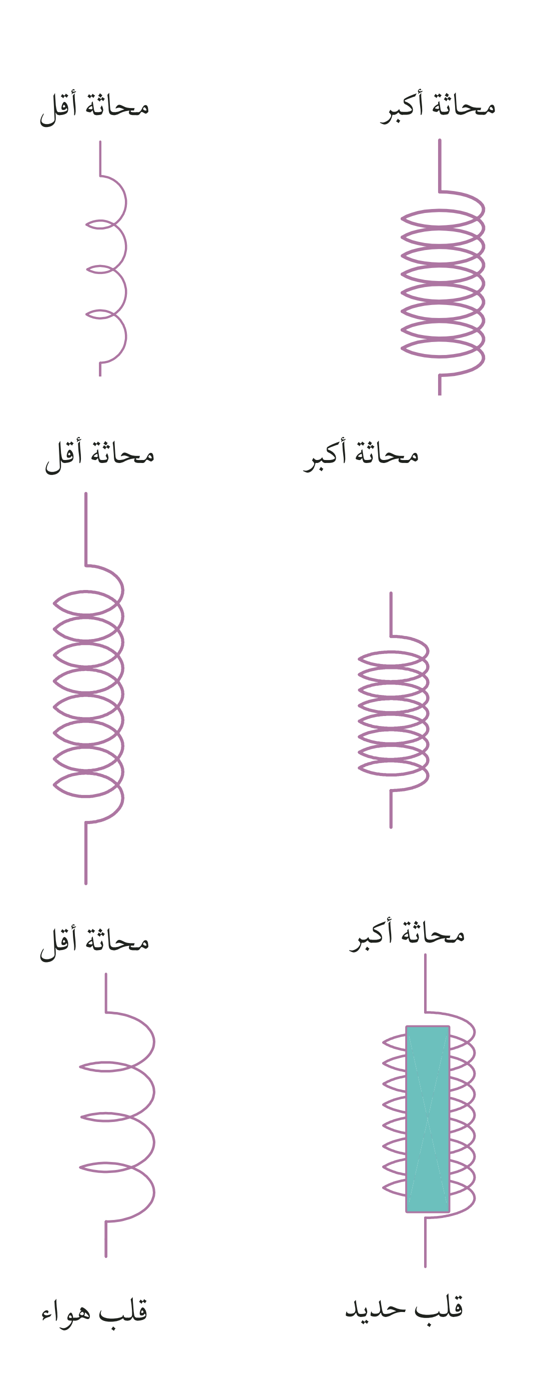
العوامل المؤثرة في قيمة حثية الملف:

هناك عدة عوامل رئيسية في تركيبة الملفات تحدد مقدار الحثية الناتجة اربع منها يمكن قياسها. هذا وتعتمد هذه العوامل الاربعة على مقدار التدفق المغناطيسي الناتج عن مقدار محدد من التيار الكهربائي وهي:

١ عدد لفات الملف:

كلما زادت عدد لفات الملف، زادت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله وبالتالي زيادة في حثية هذا الملف.





٢ مساحة مقطع الملف:

كلما زادت مساحة مقطع الملف، زادت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله وبالتالي زيادة في حثية هذا الملف .

٣ طول الملف:

كلما زاد طول الملف، قلت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله و بالتالي نقصان في حثية هذا الملف .

٤ مادة القلب:

كلما كانت نفاذية المادة التي لف عليها الملف أعلى كانت الحاثية اكبر و ذلك لكون التدفق المغناطيسي اكبر للقلب ذو النفاذية الاعلى .

وهناك عاملان اخران لا يمكن قياسهما يؤثران على قيمة الحثية لملف هما :

١ شكل القالب الملفوف عليه الملف

٢ طريقة لف الملف و عدد الطبقات التي يتكون منها الملف .

ويمكن حساب قيمة الحثية لملف بشكل تقريبي من العلاقة التالية :

$$R_S = \frac{N^2 \mu A}{\ell}$$

حيث أن :

L = حثية الملف مقاسة بالهنري

N = عدد لفات الملف (للسلك المستقيم = ١)

μ = معامل النفاذية لمادة القلب

A = مساحة الملف بالمتر المربع

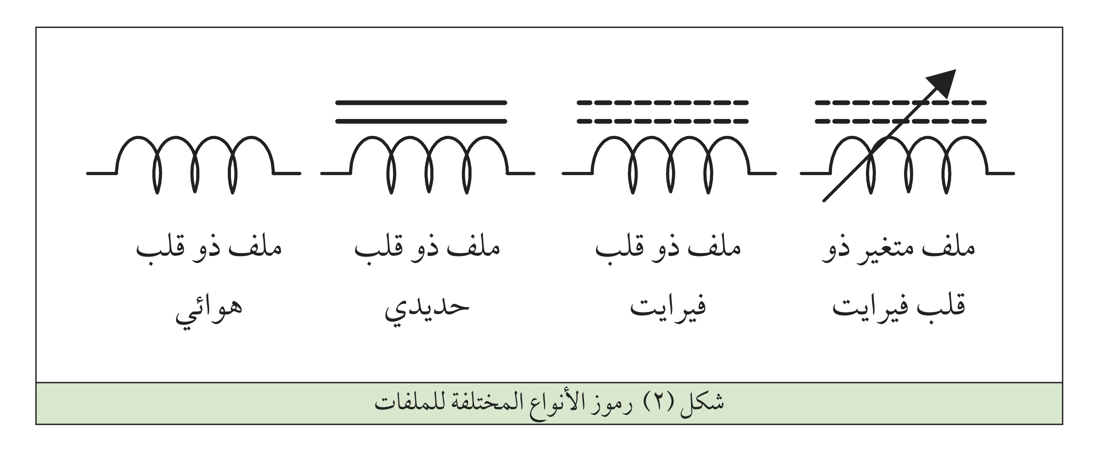
ℓ = متوسط طول الملف مقاس بالمتر

ســــــــؤال

احسب حثية ملف عدد لفاته ٥٠٠ لفة ملفوف على قلب حديد بمتوسط نصف قطر ١ سم وبطول ٢ سم .

أنواع الملفات وإستخداماتها:

يبين الشكل (٢) بعض أنواع الملفات ورموزها ، وهذه الأنواع هي :



شكل (٢) رموز الأنواع المختلفة للملفات

١ ملف ذو قلب هوائي:

الملف ذو القلب الهوائي هو عبارة عن سلك من النحاس المعزول بالورنيش وهو ذو مقاومة صغيرة وملفوف على اسطونة من البكاليت أو مفرغ ، ويستعمل في الدارات الالكترونية ذات الترددات الراديوية RF .

٢ ملف ذو قلب حديدي:

يكون سلك الملف ملفوف حول قلب من شرائح الحديد المعزول ، ويستخدم كخانق للترددات ، ويستعمل في دائرة المرشح بعد عملية التوحيد (في دارات تحويل الجهد المتغير إلى جهد مستمر) أو في دائرة مصباح الفلورسنت .

٣ ملف ذو قلب فيرايت:

الفيرايت مادة خزفيةهشة ذات خواص مغناطيسية مشابهة للحديد، ويستخدم الملف الملفوف على قلب الفيرايت في صنع الهوائي الداخلي لجهاز الراديو الترانزستور، أو في مرحلة الترددات المتوسطة، حيث يمكن تغيير حثه الذاتي بتحريك القلب الفيرايت داخل الملف (بواسطة مفك مصنوع من مادة غير مغناطيسية مثل البلاستيك).

ملاحظة : يمكن تصنيف الملفات أعلاه بطريقة أخرى اعتماداً على التردد.

قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية:

ان التغير في شدة التيار المار في الملف بالنسبة للزمن، يؤدي إلى تغير في شدة المجال المغناطيسي الناتج عن هذا التيار. التغير في شدة المجال المغناطيسي يؤدي إلى توليد قوه دافعة كهربائية تأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تياركهربائي ذو اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيارالأصلي المار في الملف.

تعطى قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة بالتأثير في ملف بالعلاقة التالية : $emf = -N \frac{d\phi}{dt}$

حيث ان $d\phi$ تمثل مقدار التغير في التدفق (الفيض) خلال الفترة الزمنية dt، وحيث أن التغير في شدة المجال ناتج عن التغير في شدة التيار $d\acute{\imath}$ فيمكن اعتبار ان التغير في شدة التيار الكهربائي خلال الزمن يتناسب طرديا مع القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة ويعبر عن ذلك بالعلاقة التالية : $emf \ \alpha \ \frac{d\acute{\imath}}{dt}$

والتي يمكن اعادة كتابتها بالشكل التالي : $emf = -L \frac{d\acute{\imath}}{dt}$

حيث ان الثابت L يمثل حثية الملف

مـــثـــال

دارة كهربائية ذات حثية مقدارها (4) هنري. انهار التيار المار في الدارة من (2) إلى (صفر) أمبير، في زمن مقداره (5) ميلي ثانية (0.005 ثانية). احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة في الدارة.

الحـــــــل

$$emf = -L \frac{d\acute{\imath}}{dt}$$

$$emf = -4 \frac{2-0}{0.0005}$$

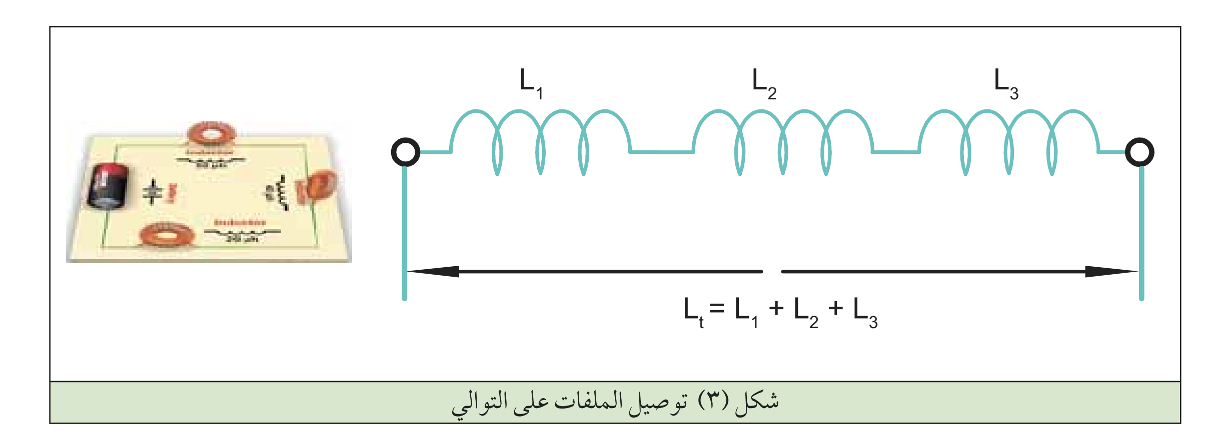
$$= -1600 \text{ V}$$

يُظهر هذا المثال بأن انهيار التيار فجائياً في دارات الملفات ينتج جهداً تأثيرياً مرتفعاً جداً، يؤدي إلى توليد قوس كهربائي بين نقاط التوصيل في المفاتيح والقواطع المغناطيسية يعرضها على المدى الطويل إلى الاحتراق والتلف.

وتستخدم هذه الظاهرة في العديد من الأجهزة الكهربائية لإنتاج جهد كهربائي مرتفع القيمة فعلى سبيل المثال، يقوم الموزع في نظام الاشتعال في السيارات بتقطيع التيار في ملف الاشتعال، لإنتاج الجهد العالي اللازم لتوليد الشرار في شمعات الاحتراق.

توصيل الملفات على التوالي:

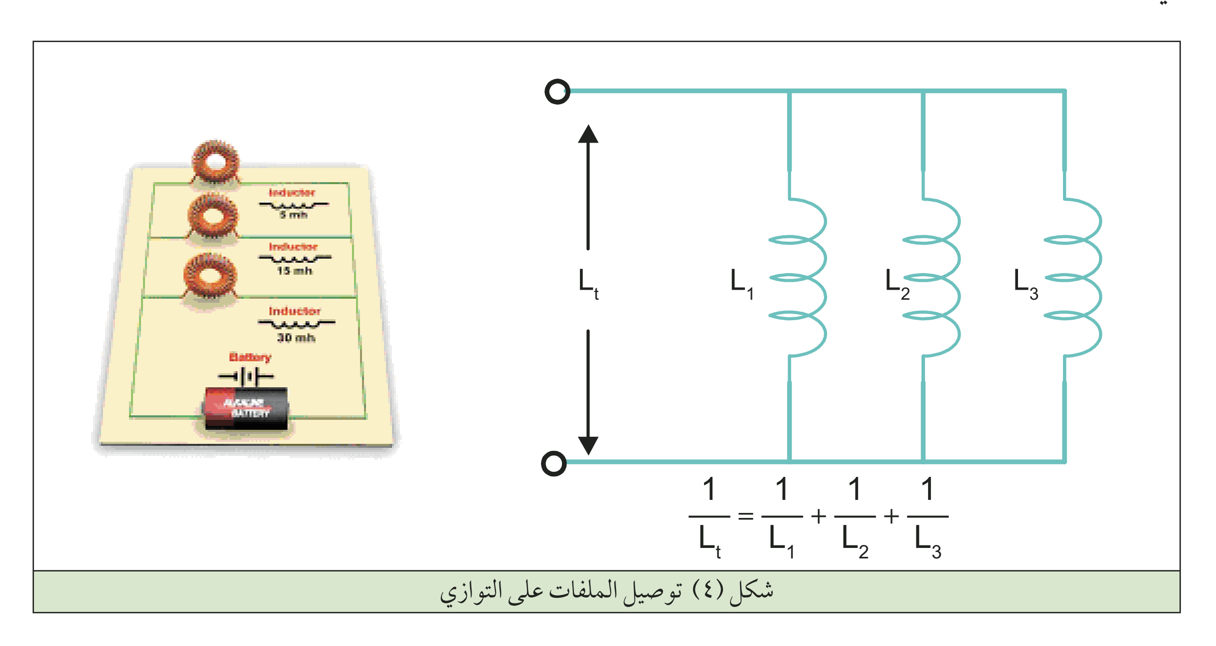
عند توصيل الملفات على التوالي كما هو مبين في الشكل (٣) فإن المحاثة الكلية L_t تحسب من القانون:



شكل (٣) توصيل الملفات على التوالي

توصيل الملفات على التوازي:

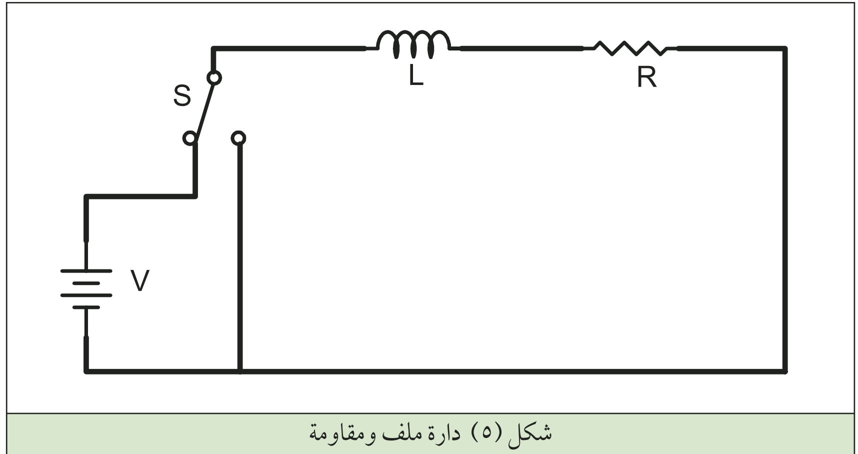
عند توصيل الملفات على التوازي كما هو مبين في الشكل (٤) فإن المحاثة الكلية L_t تحسب من القانون الآتي:



شكل (٤) توصيل الملفات على التوازي

الملف في دارات التيار المستمر:

للتعرف على سلوك الملف في دارات التيار المستمر سوف ندرس الدارة التالية حسب الشكل (٥) والتي تسمى دارة RL



شكل (٥) دارة ملف ومقاومة

يوجد ثلاث حالات نرغب في دراستها وتحليلها هي:

الحالة الاولى / عند اغلاق المفتاح:

١ عند اغلاق المفتاح في الوضع (أ) فاننا نعمل على تطبيق جهد البطارية على الدارة .

٢ تبدأ شدة التيار الكهربائي المار بالدارة بالتغير من قيمة الصفر صعوداً إلى أعلى قيمة له (القيمة العظمى للتيار تحسب من خلال قانون اوم) خلال فترة زمنية محددة (تعتمد على قيمة كل من المقاومة وحثية الملف) .

٣ خلال هذه المرحلة يعمل الملف على توليد مجال مغناطيسي تتغير شدته صعوداً من قيمة الصفر .

٤ التغير في شدة المجال المغناطيسي يؤدي إلى توليد قوه دافعة كهربائية تأثيرية عكسية تقارب في قيمتها الابتدائية مقدار جهد المصدر(كون التيار الابتدائي= صفر فان الجهد المطبق على المقاومة حسب قانون اوم يساوي صفراً .

٥ هذه القوه الدافعة الكهربائية التأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تياركهربائي ذو اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيار الأصلي المار في الملف .

٦ مع ازدياد شدة التيار الكهربائي الاصلي المار في الدارة يبدأ الجهد المطبق على الملف بالتناقص (الجهد المطبق على الملف = جهد المصدر - الجهد المطبق على المقاومة) .

٧ عندما تصل شدة التيار الكهربائي الاصلي المار في الدارة إلى أعلى قيمة يصبح الجهد المطبق على طرفي الملف = صفر .

ان الزمن اللازم لوصول التيار المار في الدارة إلى 63.2% من قيمته النهائية يسمى الثابت الزمني للملف ويعطى من خلال العلاقة : $\tau = L/R$

حيث : τ = الثابت الزمني للملف مقاسا بالثانية .

L = حث الملف مقاسا بالهنري .

R = المقاومة الاومية للدائرة مقاسة بالاوم .

الحالة الثانية / عند استقرار قيمة التيار:

تبقى شدة المجال المغناطيسي المتولدة حول الملف ثابتة في المقدار و الاتجاه و كنتيجة لذلك فإن الملف لا يُبدي أية ممانعة لمرور التيار .

الحالة الثالثة / عند اغلاق المفتاح:

١ عند اغلاق المفتاح في الوضع (ب) فاننا نعمل على احداث دارة قصر على الدارة .

٢ تبدأ شدة التيار الكهربائي المار بالدارة بالتغير من القيمة العظمى هبوطا إلى قيمة الصفر .

٣ خلال هذه المرحلة تتغير شدة المجال المغناطيسي هبوطا .

٤ التغير في شدة المجال المغناطيسي يؤدي إلى توليد قوه دافعة كهربائية تأثيرية عكسية .

٥ هذه القوه الدافعة الكهربائية التأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تياركهربائي ذو اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيارالأصلي المار في الملف .

٦ هذا سيؤدي إلى تأخير تناقص شدة التيار الاصلي وصولا إلى قيمة الصفر .

الطاقة المختزنة في الملف:

تعطى الطاقة المختزنة في الملف بالعلاقة التالية :

$$E = \frac{1}{2} L\ I^2$$

مقارنة بين الملف والمكثف:

اولاً / الملف:

١ الجهد على الملف يساوي صفراً اذا كان التيار المار فيه ثابت القيمة لايتغير مع الزمن ، واذن فالملف دارة قصر بالنسبة للتيار المباشر (DC) .

٢ كمية محدودة من الطاقة يمكن تخزينها في الملف .

٣ من غير الممكن تغيير التيار المار في الملف في زمن مقداره صفر .

٤ الملف لا يبدد الطاقة و لكنه يختزنها وهذا على فرض ان الملف مثالي و مقاومته تساوي الصفر .

ثانياً / المكثف:

١ التيار المار في المكثف يساوي الصفر إذا كان فرق الجهد علية ثابت القيمة لا يتغير مع الزمن وإذن فالمكثف دارة مفتوحة بالنسبة للتيار المباشر (DC) .

٢ كمية محدودة من الطاقة يمكن تخزينها في المكثف .

٣ من غير الممكن تغيير الجهد على المكثف في زمن مقداره صفر .

٤ المكثف لا يبدد الطاقة ولكنه يخزنها على فرض ان المكثف مثالي ومقاومته عالية جداً .

أسئلة

١ على ماذا ينص قانون لينز؟

٢ عدد العوامل المؤثرة في قيمة حثية الملف .

٣ دارة كهربائية ذات حثية مقدارها (2) هنري . انهار التيار المار في الدارة من (1) إلى (صفر) أمبير ، في زمن مقداره (10) ميلي ثانية (0.01 ثانية) . احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة في الدارة .

٤ هل يبدد الملف طاقة؟ علل إجابتك؟



المحولات الكهربائية

يعد المحول من الأجهزة الكهربائية ، التي بوساطتها تنقل القدرة الكهربائية المتغيرة (AC) من دارة إلى أخرى، عن طريق التأثير الكهرومغناطيسي المتبادل بين ملفين، مع إمكانية رفع أو خفض الجهد أو التيار في الدارة الثانية . وبما أن المحول لا يقدم أية زيادة في القدرة، يمكن العمل على رفع الجهد في الدارة الثانية على حساب انخفاض التيار في الدارة المتوافق معه، والعكس صحيح بالطبع .

يعتمد عمل المحول على مبدأ التأثير المتبادل للملفات المتجاورة . وتختلف المحولات من حيث كمية القدرة الكهربائية التي يمكن نقلها بوساطتها من دارة إلى أخرى، فتتراوح بين المحولات الضخمة المستخدمة في شبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية التي تنقل قدرة تقاس بالميغا واط (MW)، والمحولات الصغيرة جداً المستخدمة في أجهزة الاتصالات التي تنقل قدرة صغيرة تقاس بالميلي واط (mW)، ويبين الشكل(١) بعض الإشكال الشائعة للمحولات .

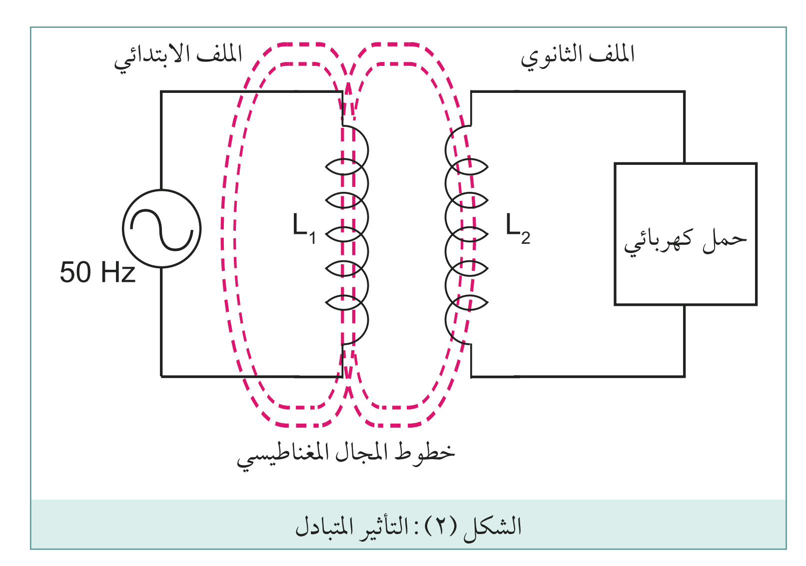


الشكل(١): الإشكال الشائعة للمحولات

يتناول هذا الدرس التأثير المتبادل بين المحولات المستخدمة في الأجهزة الكهربائية والتي لها قدرة مقررة تتراوح ما بين ألواط الواحد إلى بضع مئات من ألواط .

١ التأثير المتبادل (Mutual Inductance)

عندما يتغير المجال المغناطيسي في ملف، يتولد جهداً بالتأثير في ملف آخر مجاور له كما هو مبين في الشكل (٢)، وهذه الظاهرة تعرف باسم التأثير المتبادل. فإذا وصل الملف الابتدائي (L_1) بمصدر تيار متغير، يتولد حول هذا الملف مجال مغناطيسي متغير أيضاً، حيث ينمو ويتناقص بحسب تغيرات شدة التيار المار في الملف. ويقوم هذا المجال المتغير باختراق الملف الثانوي (L_2) ويولد فيه جهداً بالتأثير يستفاد منه في تشغيل حمل كهربائي.



الشكل (٢): التأثير المتبادل

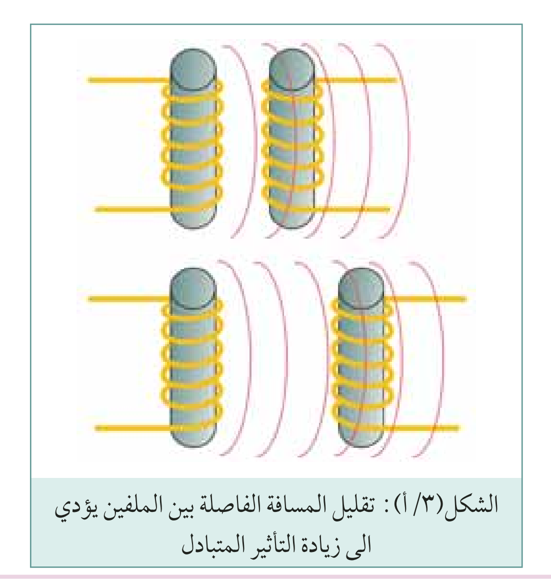
وبذلك يمكن القول إن الطاقة الكهربائية انتقلت من دارة الملف الابتدائي (L_1) إلى دارة الملف الثانوي (L_2) دون اتصال كهربائي مباشر بينهم، حيث استعيض عن ذلك باتصال مغناطيسي.

ويقاس مقدار التأثير المتبادل بين ملفين بنفس الوحدات الخاصة بالتأثير الذاتي أي الهنري، فيكون التأثير المتبادل بين الملفين (L_1) و (L_2)المبين في الشكل (٢) هنري واحداً، إذا تولد جهد قدره 1 فولت بين طرفي الملف الثانوي (L_2) نتيجة لتغير قيمة التيار يعادل أمبير واحد في الثانية في الملف الابتدائي (L_1).

ويمكن زيادة التأثير المتبادل بين ملفين بالطرق الآتية:

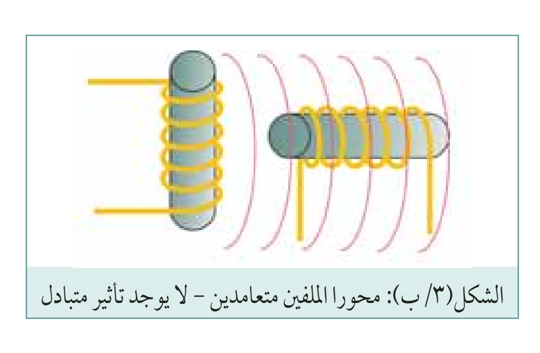
١ تقليل المسافة الفاصلة بينهما.

٢ **وضع الملفين بحيث يكون محوراهما متوازيين:** حيث ينعدم التأثير المتبادل في الوضع الذي يتعامد فيه محورا الملفين، ويستفاد من هذه الظاهرة عندما يراد حماية ملف من تأثير المجال المغناطيسي لملف آخر قريب منه. الشكل (٣/ أ، ٣/ ب).

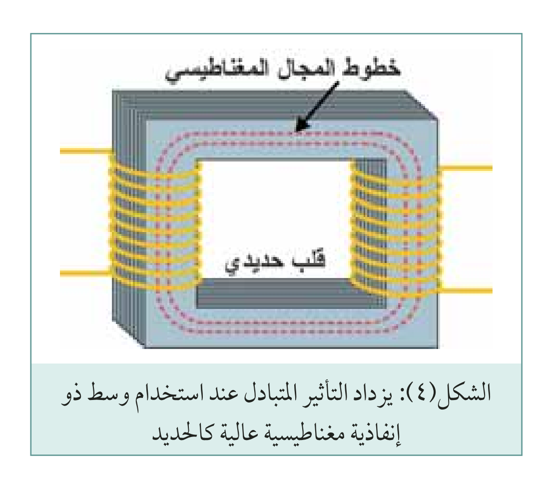


الشكل(٣/ أ): تقليل المسافة الفاصلة بين الملفين يؤدي الى زيادة التأثير المتبادل

٣ **زيادة عدد اللفات لكل منهما:** حيث يزداد الجهد المتولد نتيجة لتقاطع الملف مع مجال مغناطيسي معين.


الشكل(٣/ب): محورا الملفين متعامدين - لا يوجد تأثير متبادل

٤ **نوع الوسط الفاصل بين الملفين:** حيث يزداد التأثير المتبادل عند استخدام وسط ذي إنقاذية مغناطيسية عالية كالحديد. ويبين الشكل(٤) طريقة زيادة التأثير المتبادل بواسطة قلب حديدي يشكل مسارٍ متصل للمجال المغناطيسي الناتج من سريان التيار الكهربائي في الملف الابتدائي(L_1).



الشكل(٤): يزداد التأثير المتبادل عند استخدام وسط ذو إنفاذية مغناطيسية عالية كالحديد

معامل الربط (Coupling Coeffcient)

يشير معامل الربط الى مدى تأثر لفات أحد الملفين بالمجال المغناطيسي للملف الآخر ، فإذا فرضنا أن كل خطوط المجال المغناطيسي لأحد الملفين تتقاطع مع كل لفات الأخر فإنه يقال إن معامل الربط يساوي الواحد . أما في الحالة التي لا تتقاطع فيها جميع خطوط المجال المغناطيسي مع كل اللفات الخاصة بالملف الآخر وهي الحالة العامة يكون معامل الربط أقل من الواحد الصحيح، ويعطى التأثير المتبادل في هذه الحالة بالمعادلة:

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}$$

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

حيث:

M= التأثير المتبادل بين الملفين بالهنري.

L_1= التأثير الذاتي للملف الأول بالهنري.

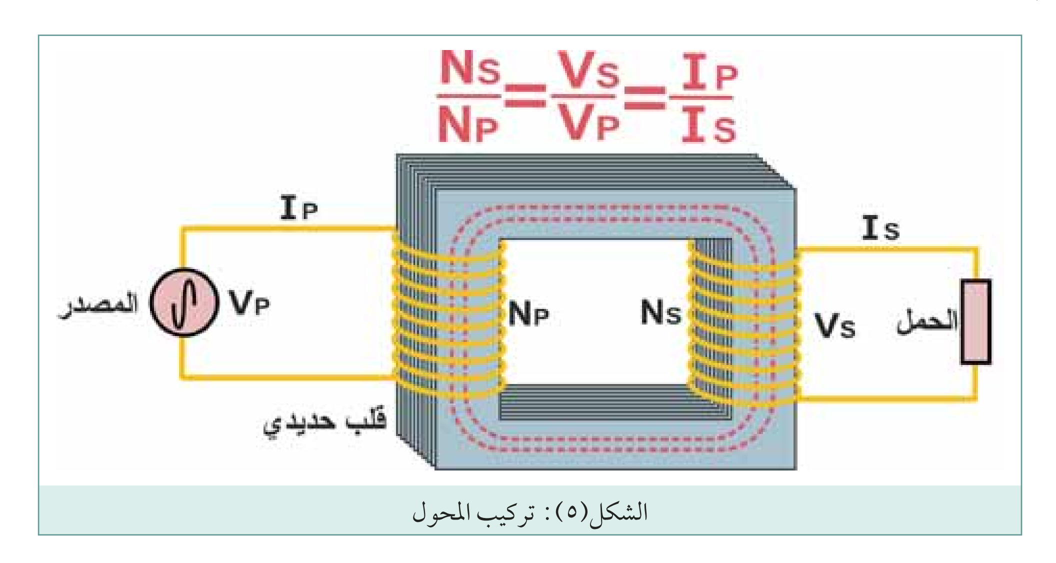
L_2= التأثير الذاتي للملف الثاني بالهنري.

K= معامل الربط المغناطيسي. وهو كسر عشري يقل عن الواحد الصحيح.

تتراوح قيمة معامل الربط 0.98 أو 0.99 في بعض محولات القدرة التي تستخدم قلب حديدي، الى ما يقل عن0.05 أو0.01 في بعض المحولات الراديوية التي تستخدم قلب هوائي.

٢ تركيب المحول

يتكون المحول الكهربائي من ملف ابتدائي(Primary Winding) يوصل بمصدر التيار المتغير(AC)، وملف ثانوي(Secondary Winding) يوصل بالحمل الكهربائي، كما هو مبين في الشكل (٥). ويتم لف الملفين على قلب حديدي(Iron Core) ليزيد من التأثير المتبادل بينهما. ويستخدم المحول في رفع أو خفض قيمة الجهد الكهربائي المتولد تبعاً للحاجة.



الشكل(٥): تركيب المحول

القلب الحديدي

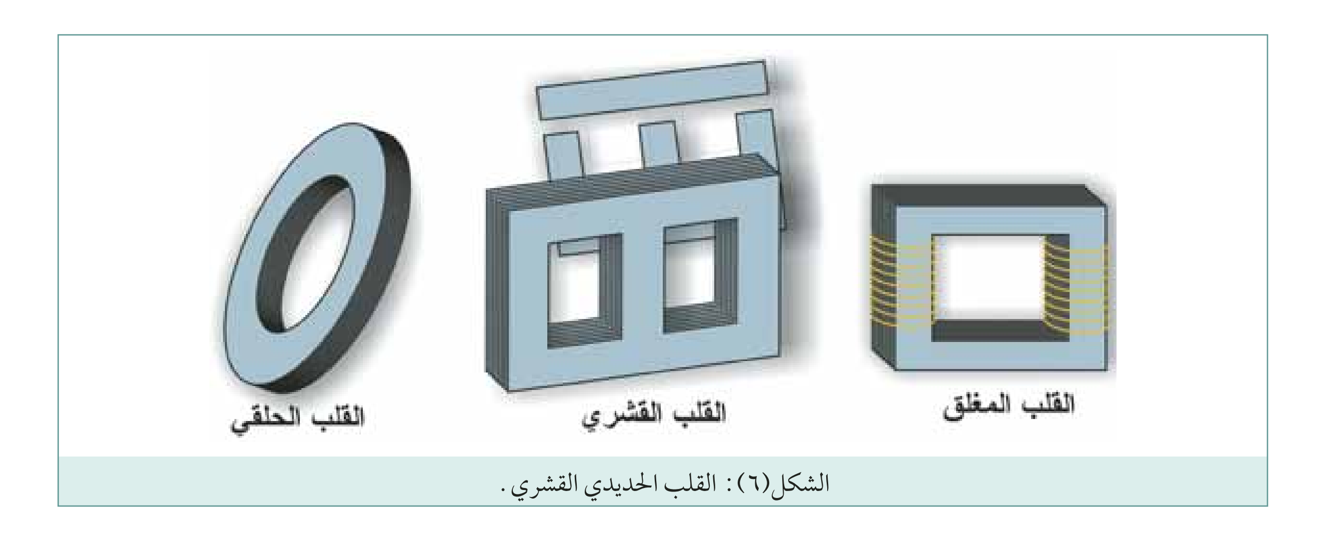
يتكون من رقائق الحديد تعزل بطلائها بالورنيش أو أي مادة عازلة أخرى، ويبلغ سمك كل منها 0,35 ملم تقريبا. تجمع هذه الرقائق معا بشكل قوي للحد من الفجوات الهوائية بينها، ولتشكل مساراً متصلاً للمجال المغناطيسي الناتج من سريان التيار الكهربائي في الملف الابتدائي للمحول. ويمكن تقسيم القلوب الحديدية إلى ثلاثة أنواع أساسية وهي:

أ القلب الحديدي المغلق (Closed Core)

عبارة عن حلقة مستطيلة الشكل تصنع من صفائح الحديد السليكوني، وتشكل مساراً مغلقاً للمجال المغناطيسي. لزيادة الربط المغناطيسي بين ملفي المحول، يقسم الملف الابتدائي إلى نصفين متساويين، يلف النصف الأول على الذراع الجانبي الأول، ويلف النصف الثاني على الذراع الجانبي الأخر، وكذلك الحال بالنسبة للملف الثانوي.

ب القلب الحديدي القشري (Shell Core)

يستخدم هذا النوع دارة مغناطيسية مزدوجة كما يتضح من الشكل(٦)، حيث تلف الملفات على الذراع الوسطية، ويكون القلب الحديدي محيطاً بهذه الملفات. ويتم ترتيب كلاً من الملفين الابتدائي والثانوي على شكل طبقات متعاقبة معزولة عن بعضها بشكل جيد. القلب القشري يزيد الربط المغناطيسي بين الملف الابتدائي والملف الثانوي مما يؤدي إلى زيادة كفاءة المحول.



الشكل(٦) : القلب الحديدي القشري .

ج القلب الحلقي:

يكون على شكل حلقة مستديرة تلف حولها ملفات المحول، بحيث تكون لفات الطرف الابتدائي إلى الداخل، ولفات الطرف الثانوي إلى الخارج ومحيطة بها ، كما يوضح الشكل (٦). يثبت المحول الحلقي (Toroidal Transformer) داخل الجهاز الكهربائي بواسطة قرص معدني ببرغي. ويبين الشكل (٧) صورة لمحول حلقي.


الشكل(٧) : المحول الحلقي .

٣ معادلة المحول

يعتمد عمل المحول على ظاهرة التأثير المتبادل بين ملفين متجاورين، فإذا وصل طرفي الملف الابتدائي بمصدر للفولتية المتناوبة(V_P) كما يظهر في الشكل(٥)، فان المجال المغناطيسي المتغير الناتج من مرور التيار المتغير بالملف الابتدائي سيقطع كلياً أو جزئياً الملف الثانوي، مما يتسبب في توليد فولتية متناوبة بين طرفي الملف الثانوي مقدارها (V_S)، تؤدي إلى سريان تيار كهربائي بالحمل الكهربائي الموصول بين طرفي الملف الثانوي.

والجدير بالذكر أن المحول الكهربائي لا يعمل على التيار المستمر، لأن التيار المستمر ثابت القيمة وبالتالي ينتج مجالاً مغناطيسياً ثابتاً أيضاً، ولكنه يفقد شرطاً أساسياً لتوليد التيار الكهربائي بالتأثير ألا وهو "الحركة النسبية" .

يستخدم المحول كأداة لرفع أو خفض مستوى الجهد المتناوب تبعاً للحاجة. فبتغيير النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي والملف الثانوي، يمكن تغيير مقدار الجهد المتولد بالتأثير في الملف الثانوي. وبهذه الصورة يمكن خفض أو رفع مقدار الجهد المتناوب باستخدام نسبة عدد لفات ملائمة. ويمكن تعريف نسبة عدد اللفات بأنها نسبة عدد لفات الملف الثانوي (N_S) إلى عدد لفات الملف الابتدائي(N_P)

$$\text{نسبة عدد اللفات} = \frac{N_S}{N_P}$$

ويمكن إثبات إن نسبة عدد اللفات تساوي نسبة الجهد، أي النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل :

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

حيث إن :

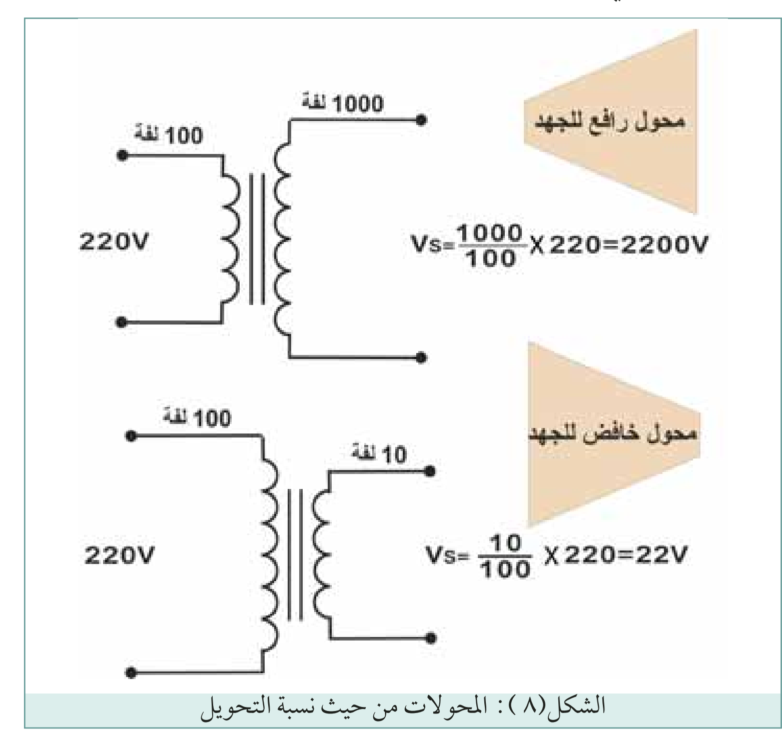
جهد (فولتية) الملف الابتدائي $= V_P$

جهد (فولتية) الملف الثانوي $= V_S$

عدد لفات الملف الابتدائي $= N_P$

عدد لفات الملف الثانوي $= N_S$

عندما يكون عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الابتدائي (نسبة اللفات أكبر من الواحد) فان المحول يقوم برفع الجهد بصورة متناسبة ونسبة عدد اللفات، ويعرف المحول بمحول رفع الجهد. مثلاً: المحول المبين في الشكل (٨) يتكون الملف الابتدائي من (100) لفة، بينما يتكون الملف الثانوي من (1000) لفة، فأن جهد الملف الثانوي سيكون عشرة أضعاف جهد الملف الابتدائي (10=1000\100).



الشكل(٨): المحولات من حيث نسبة التحويل

مثلاً: اذا كان عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الابتدائي (نسبة اللفات اقل من واحد)، فأن المحول يقوم بخفض الجهد بصورة متناسبة ونسبة عدد اللفات، ويعرف المحول بمحول خفض الجهد.

مثلاً: المحول المبين في الشكل (٨)، يتكون الملف الابتدائي من (100)لفة، بينما يتكون الملف الثانوي من (10) لفات فقط ، فان جهد الملف الثانوي سيكون عُشر جهد الملف الابتدائي (0,1= 10 \100).

في المحول المثالي، تكون القدرة في دارة الملف الابتدائي مساوية للقدرة في دارة الملف الثانوي، والمعادلة التي تربط بين قدرة الملف الابتدائي وقدرة الملف الثانوي في المحول المثالي هي :

$$P_P = P_S$$

وبما أن القدرة مساوية لحاصل ضرب الجهد بالتيار، فإذاً :

$$V_P \times I_P = V_S \times I_S$$

ومن هذه العلاقة، نجد أن:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

حيث أن:

I_P= تيار الملف الابتدائي

I_S= تيار الملف الثانوي

بربط المعادلات السابقة نحصل على المعادلة العامة للمحول:

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{V_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

الجدير بالذكر أن المحول الذي يرفع الجهد ينبغي أن يخفض التيار، بحيث تبقى قدرة الخرج مساوية لقدرة الدخل. لذا فأن نسبة التيار تكون معاكسة لنسبة الجهد أو لنسبة عدد اللفات.

مثال ١

محول خفض، عدد لفات الملف الابتدائي (400) لفة، عدد لفات الملف الثانوي (40) لفة، جهد الملف الابتدائي (220) فولت، احسب جهد الملف الثانوي.

الحل

$N_P = 400$ لفة

$N_S = 40$ لفة

$V_P = 220$ فولت

$V_S = ?$

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{V_P}$$

$$V_S = \frac{N_S}{N_P} \times V_P$$

$$V_S = \frac{40}{400} \times 220$$

$$V_S = 22V$$

مثال ٢

محول خفض 220\12 فولت، تيار الملف الثانوي 2 أمبير، احسب تيار الملف الابتدائي.

الحل

$V_P = 220$ فولت

$V_S = 12$ فولت

$I_S = 2$ أمبير

$I_P = ?$

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{I_S}{I_P}$$

$$I_P = I_S \times \frac{V_S}{V_P}$$

$$I_P = 2 \times \frac{12}{220}$$

$$I_P = 0.11A$$

٤ كفاءة المحول

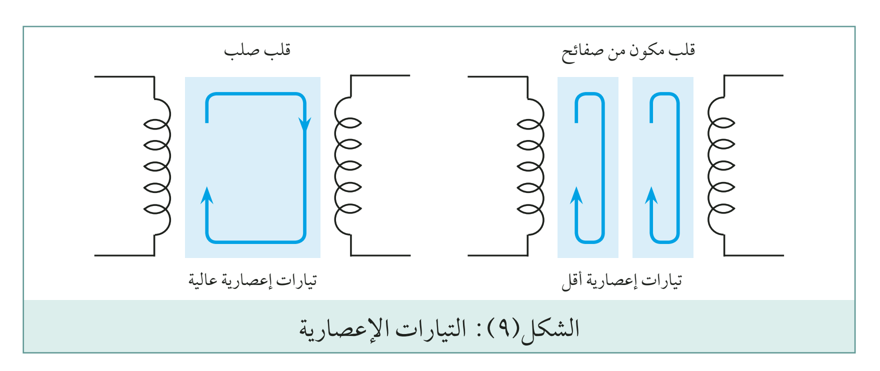
ذكرنا سابقاً أن القدرة في الملف الثانوي تساوي القدرة في الملف الابتدائي في المحول المثالي، وسبب ذلك هو إهمال الفقد في المحول الذي يتحول بسببه جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، ولهذا السبب، تكون القدرة على مخرج المحول اقل من القدرة الداخلة إليه، والنسبة بين القدرة الخارجة من المحول إلى القدرة الداخلة إليه تدعى الكفاءة، وتعطى الكفاءة بالعلاقة آلاتية :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{القدرة الخارجة}}{\text{القدرة الداخلة}} \times 100\%$$

تعتبر المحولات من الآلات الكهربائية ذات الكفاءة العالية، حيث تتراوح كفاءتها من 95% إلى98% ، ويمكن تحديد الفقد في المحولات كما يأتي :

أ الفقد الحديدي

وهو الفقد الذي ينشأ في القلب الحديدي، ويشتمل على المفقود من التيارات الإعصارية وهي تيارات كهربائية تتولد بالتأثير في القلب الحديدي وتؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة قلب المحول، يمكن تخفيض التيارات الإعصارية بتشكيل قلب المحول من صفائح فولاذية رقيقة معزولة عن بعضها، مما يؤدي رفع مقاومة دارة الحديد لسريان التيار الإعصاري ، كما هو موضح في الشكل (٩).

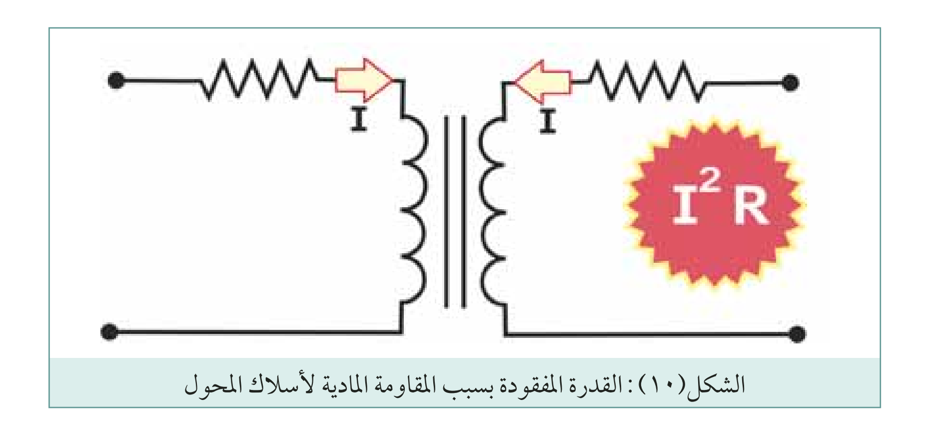


الشكل(٩) : التيارات الإعصارية

وتستخدم أيضا مواد تعرف بالفريتات (Ferrites) كقلوب مغناطيسية في كثير من محولات الفولتية عالية التردد . والفريتات هي مواد خزفية لها خواص مغناطيسية مشابهة للحديد، ولكنها تعتبر عوازل من الناحية الافتراضية . وبالتالي تصبح القدرة المفقودة في القلب المصنوع من الفرايت صغيرة حيث أن قيمة التيار الإعصاري منخفضة ، وهذا النوع من المادة هش وقابل للكسر بسهولة بالاستعمال غير الواعي .

ب الفقد النحاسي

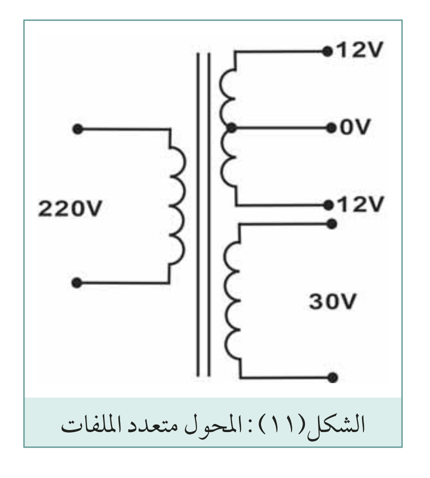
هو الفقد الذي ينشأ في الملفات النحاسية للمحول بسبب المقاومة المادية لأسلاك ملفات المحول الابتدائية والثانوية، وهذا الفقد يتناسب طردياً مع مربع شدة التيار، لاحظ الشكل(١٠).



الشكل(١٠): القدرة المفقودة بسبب المقاومة المادية لأسلاك المحول

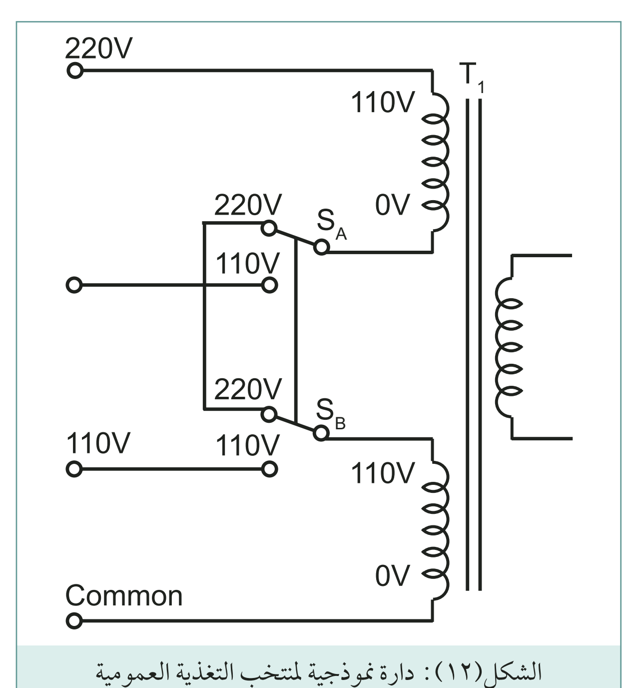
٥ أنواع المحولات

أ محول القدرة



الشكل(١١): المحول متعدد الملفات

يستخدم في مدخل وحدات التغذية في الأجهزة الإلكترونية، ويكون من النوع ذي القلب الحديدي، والهدف منه خفض الجهد العام/220V) (ACإلى قيمة مناسبة وذلك حسب حاجة الجهاز الإلكتروني. ويمكن استخدام أكثر من ملف ثانوي بحيث تخرج من الطرف الثانوي للمحول فولتيات مختلفة، لاحظ الشكل (١١).



الشكل(١٢): دارة نموذجية لمنتخب التغذية العمومية

بعض محولات القدرة متعددة الإغراض تزود بملفان ابتدائيان يسمحان بالاشتغال على تغذية (110 فولت) أو (220 فولت)، والشكل(١٢) يبين دارة نموذجية لمنتخب فولتية التغذية العمومية مبنية على أساس مفتاح ثنائي القطب ثنائي الرمية S_A.
ويجب التنويه أن الاستخدام الخاطئ لمفتاح انتخاب فولتية التغذية العمومية يؤدي بالعادة إلى حرق الملف الابتدائي للمحول وحدة التغذية.

ب المحول الذاتي (Auto-Transformer)

يتكون المحول الذاتي من ملف واحد مشترك بين الجانبين الابتدائي والثانوي، مما يوفر كمية الأسلاك النحاسية المستعملة ويخفض حجمه ووزنه وكلفته.

ويوضح الشكل (١٣) تركيب المحول الذاتي الخافض، فيمثل الجزء (أ ب) الملف الابتدائي، والجزء (جـ ب) الملف الثانوي. يصمم المحول الذاتي بحيث يتحمل الجزء غير المشترك (أ جـ) تيار المصدر(I_P)، ويتحمل الجزء المشترك (جـب) الفرق بين تيار المصدر وتيار الحمل (I_P-I_S).

محول رافع للجهد
220V
محول خافض للجهد
220V
I_P
أ
ب
I_S
جـ

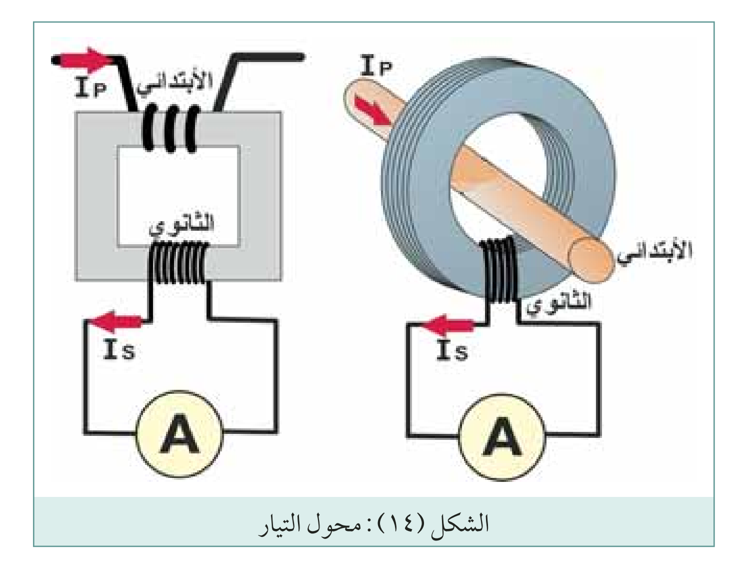
الشكل (١٣): المحول الذاتي

كما يوضح الشكل(١٣) تركيب المحول الذاتي الرافع. ويجب التذكير أن معادلة المحول العامة التي سبق شرحها تنطبق أيضاً على المحول الذاتي. يستخدم المحول الذاتي لرفع أو خفض الفولتية عندما تكون نسبة التحويل المطلوبة غير مرتفعة، وعندما يكون العزل الكهربائي بين الملفان الابتدائي والثانوي غير ضروري.

جـ محول التيار:

يستخدم محول التيار مع أجهزة قياس التيار المتناوب (الأومميتر) بهدف خفض قيمة التيار المتناوب المراد قياسه إلى قيمة مناسبة يسهل قياسها، كما يستخدم لعزل جهاز القياس عن أسلاك الفولتية العالية.

يتكون محول التيار كما في الشكل(١٤) من ملف ابتدائي، يكون عدد لفاته قليلاً، ومساحة مقطع سلكه كبيرة، ويوصل هذا الملف على التوالي بخط الحمل المراد قياس تياره. وأما الملف الثانوي، فيكون عدد لفاته كبيراً، ومساحة مقطع سلكه صغيرة، ويوصل بجهاز قياس التيار.



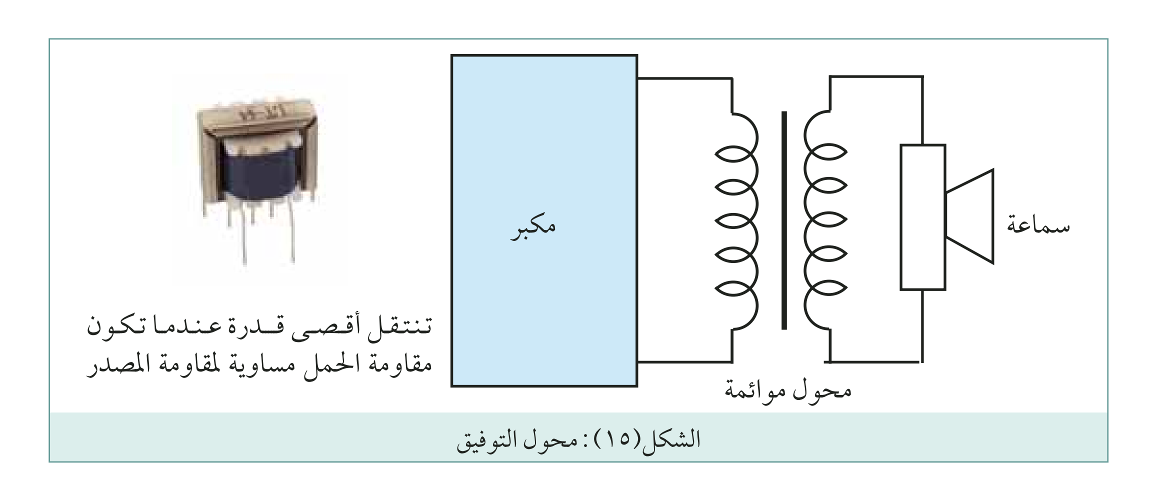
الشكل (١٤): محول التيار

د محول العزل (Isolation Transformer):

يستخدم هذا المحول في ورشات الصيانة لعزل بعض الأجهزة والمعدات عن الشبكة الكهربائية العمومية، لتفادي الصدمات الكهربائية في أثناء العمل، وتكون فولتية الملف الثانوي مساوية لفولتية الملف الابتدائي، أي نسبة تحويل الفولتية مساوية للوحدة.

هـ محول التوفيق (Matching Transformer):

يستعمل لربط دارتين كهربائيتين معاً بحيث يعمل على التوفيق بين ممانعة (مقاومة) الخرج للدارة الأولى وممانعة الدخل للدارة الثانية لضمان نقل أقصى قدر من الطاقة . لنفرض ، مثلاً ، أنه يوجد لدينا مضخم صوت ممانعة خرجه تساوي 4300 أوم ، ونريد وصله مع سماعة ممانعتها 8 أوم . عند ذلك يجب استخدام محول ذو نسبة لفات مناسبة لتوفيق هاتين الممانعتين .



الشكل(١٥) : محول التوفيق

وتعطى نسبة لفات المحول اللازمة لنقل أقصى قدرة بالمعادلة التالية :

$$\frac{N_P}{N_S} = \sqrt{\frac{Z_P}{Z_S}}$$

حيث :

ممانعة خرج الجهاز الموصول بالملف الابتدائي .

ممانعة دخل الجهاز الموصول بالملف الثانوي .

وبالنسبة للمثال الوارد في الشرح أعلاه يمكن حساب نسبة لفات المحول اللازمة لنقل أقصى قدرة كما يلي :

$$\frac{N_P}{N_S} = \sqrt{\frac{4300}{8}}$$

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{23}{1}$$

و المحولات النبضية:

وهي محولات مصممة لتعمل على النبضات وعلى نطاق عريض من الترددات (1 إلى 100 كيلوهيرتز) . وتكون من النوع ذو قلب الفرايت .

٦ المواصفات الفنية للمحول

يمكن تعريف المواصفات الفنية للمحول بأنها تلك الخواص التي تميزه عن أي محول أخر، وتتعلق بعض هذه المواصفات بشكل المحول وتركيبه، ويمكن معرفتها بالنظر، كأن يكون المحول ذا قلب حديدي أو هوائي أو من الفرايت. أما المواصفات الأخرى فتعطى من قبل الشركة الصانعة، وتطبع على المحول نفسه، وأهم هذه المواصفات ما يأتي:

١ **فولتية الطرف الابتدائي**: وهي الفولتية التي يمكن توصيلها بالملف الابتدائي دون أن يحدث أي ضرر لذلك الملف كتلف العازل أو الحرق.

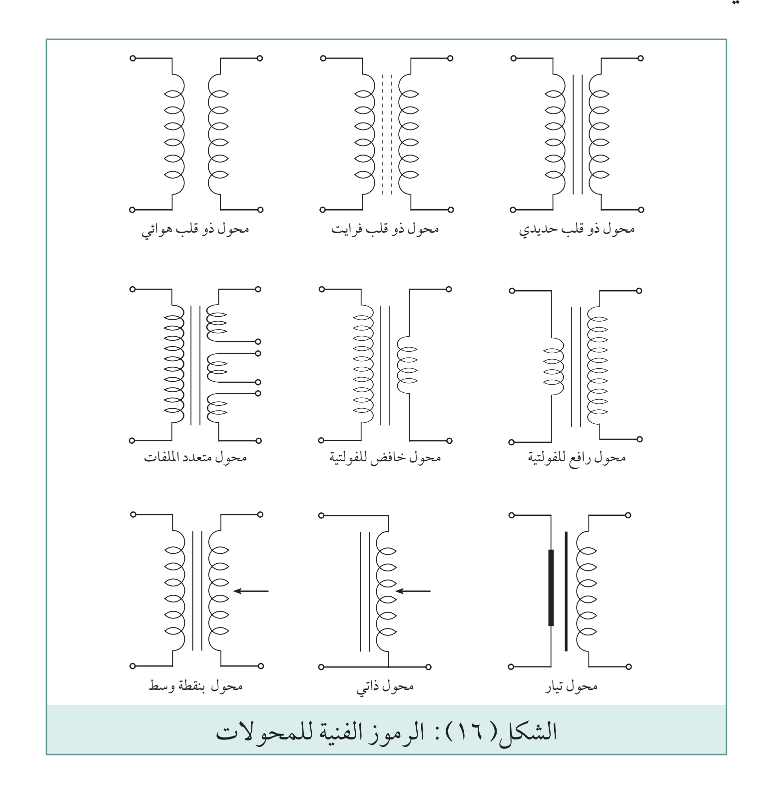
٢ **فولتية الطرف الثانوي**: وهي الفولتية أو الفولتيات التي تظهر على الطرف أو الأطراف الثانوية للمحول عند تغذية الملف الابتدائي بالفولتية المقررة.

٣ **التيار الثانوي الأقصى**: وهو أقصى تيار يمكن أن يسحبه الحمل من الملف الثانوي دون إتلافه.

٤ **قدرة المحول**: تعطى القدرة المقررة لمحولات القدرة بوحدة الفولت أمبير (VA) وليس بالواط، وهذه الطريقة تحدد أقصى قيمة لتيار الذي يمكن سحبه من المحول بغض النظر عن معامل قدرة الحمل. مثلاً، المحول المقنن VA50، وقيمة الجهد الثانوي 10 فولت يمكن أن يعطي تيار قيمته القصوى 5 أمبير عند أي معامل قدرة (I=50/10=5A).

٧ الرموز الفنية للمحولات

يختلف الرمز الفني للمحول حسب نوعه، ويبين الشكل (١٦) الرموز الفنية لمختلف أنواع المحولات.



الشكل (١٦): الرموز الفنية للمحولات

٨ أعطال المحولات

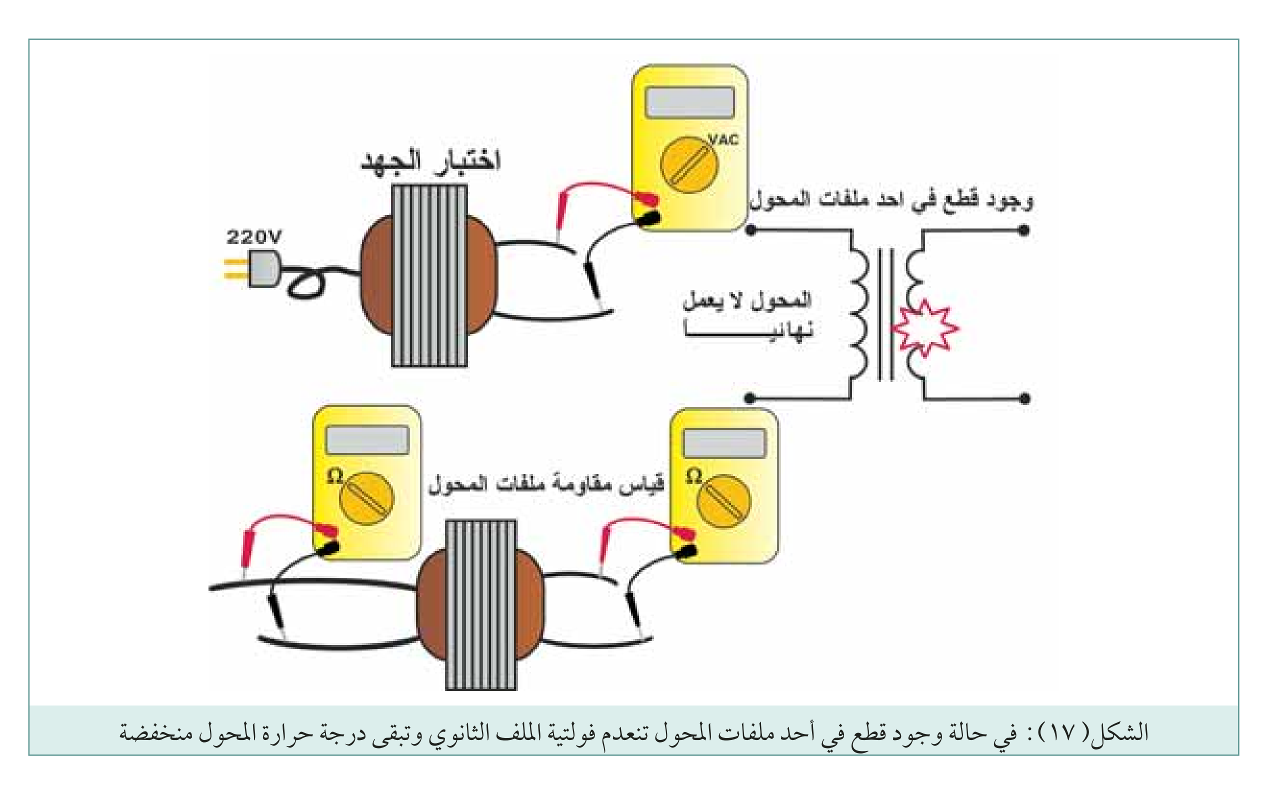
تعتبر المحولات من المكونات الأساسية لشبكات والأجهزة الكهربائية، ويجب أن يكون فني الصيانة قادراً على فحصها وتحديد أعطالها بكفاءة. يمكن تقسيم أعطال المحولات إلى فئتين وهما:

أ الأعطال الكلية:

هي الأعطال التي لا يعمل فيها المحول نهائياً رغم تزويد ملفه الابتدائي بفولتية التغذية المقررة، والأسباب المتوقعة هي:

١ حرق الملف الابتدائي نتيجة ارتفاع فولتية المصدر عن تلك المقررة للمحول.

٢ حرق الملف الثانوي نتيجة سحب الحمل تيار أعلى من المقرر، بسبب وجود قِصر (شورت) في الحمل، أو وصل حمل أكبر من الحمل المقرر للمحول.



الشكل(١٧): في حالة وجود قطع في أحد ملفات المحول تنعدم فولتية الملف الثانوي وتبقى درجة حرارة المحول منخفضة

ويمكن فحص المحول في هذه الحالة بأتباع الخطوات التالية:

١ هيئ جهاز القياس (Multimeter) لقياس الفولتية المتناوبة (AC).

٢ أفصل الحمل عن المحول.

٣ صل المحول بمصدر التغذية.

٤ أفحص الفولتية بين طرفي الملف الابتدائي(فولتية المصدر).

٥ أفحص الفولتية بين طرفي الملف الثانوي.

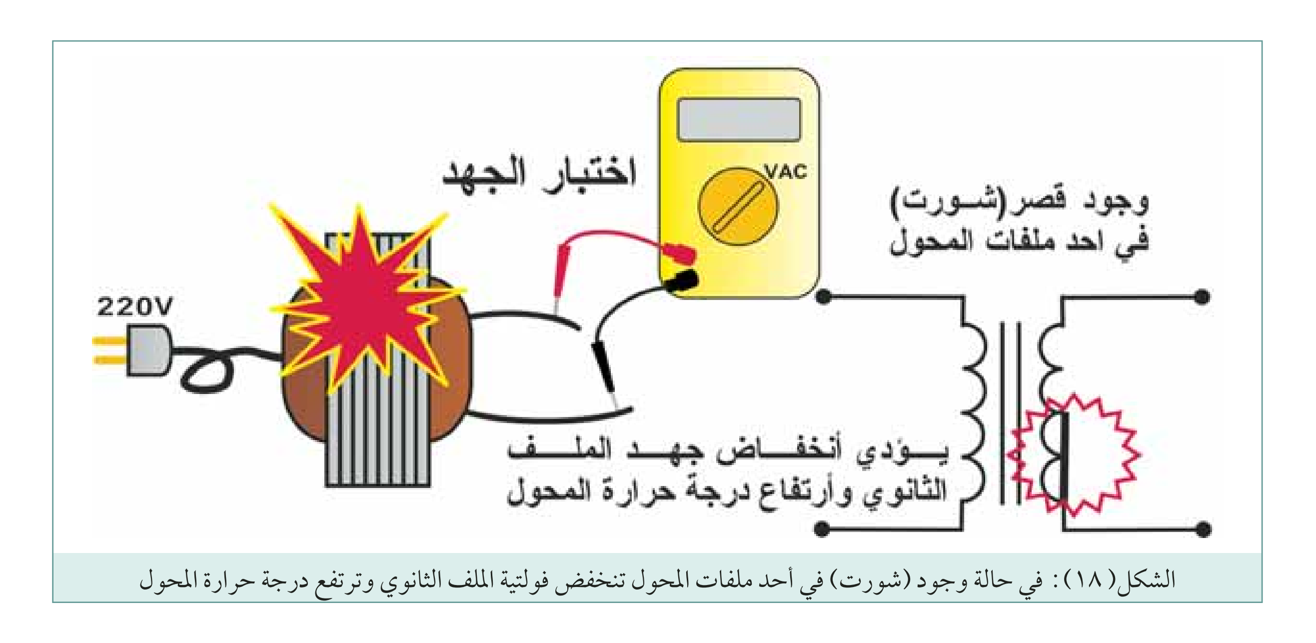
فإذا كانت فولتية الملف الثانوي مساوية الصفر فهذا يدل على وجود قطع في أحد ملفي المحول، ويمكن إيجاد الملف التالف بقياس مقاومة الملفات حسب الخطوات التالية :

١ هيئ جهاز القياس لقياس المقاومة (المدى 1000 أوم) .
٢ أفصل المحول عن مصدر التغذية .
٣ أفحص مقاومة الملف الابتدائي .
٤ أفحص مقاومة الملف الثانوي . الملف الذي يعطي مقاومة عالية جداً يكون تالف .

ب الأعطال الجزئية:

وفي هذه الحالة لا يؤدي المحول عمله بالشكل المطلوب، كأن تتدنى فولتية الطرف الثانوي، أو يسحب الطرف الابتدائي تيار أعلى من المقرر، أو ترتفع درجة حرارة المحول بشكل ملحوظ، والأسباب المتوقعة هي :

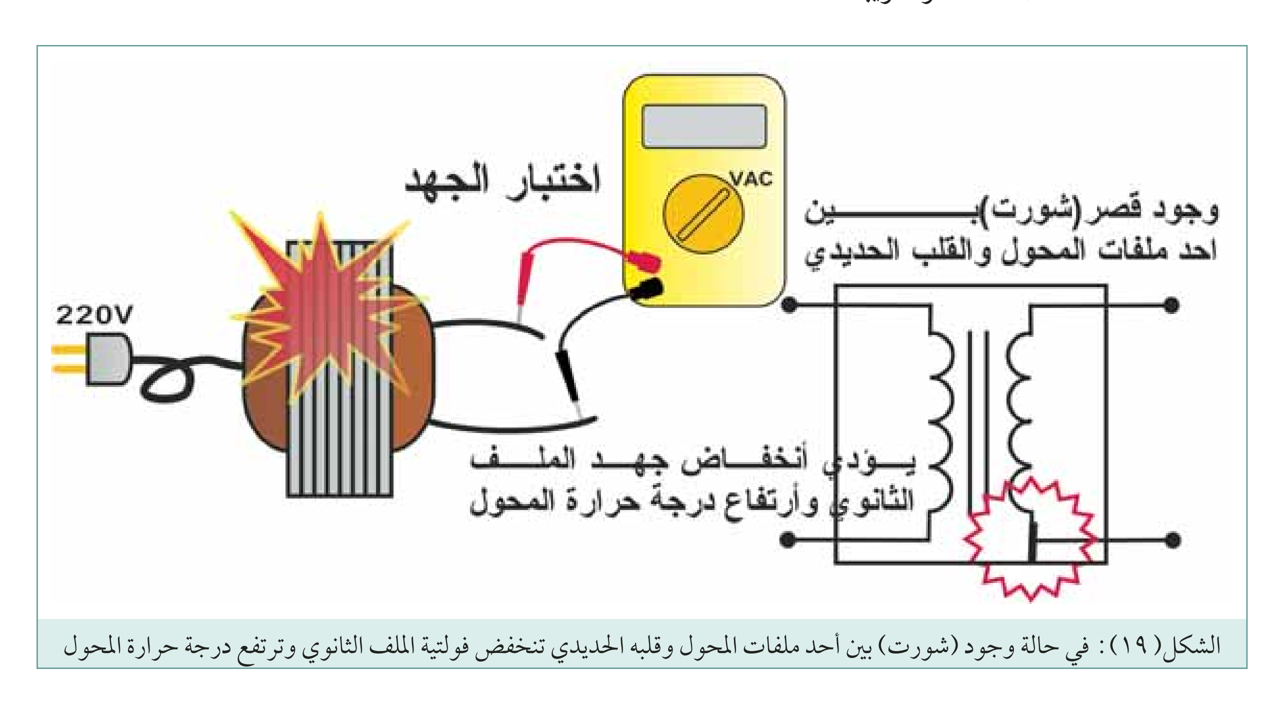
١ حدوث قِصر (شورت) جزئي في أحد ملفي المحول أو كلاهما، وهذا يؤدي إلى انخفاض فولتية الملف الثانوي وارتفاع درجة حرارة المحول . في هذه الحالة، قياس مقاومة الملف الثانوي لن يكون مجدياً، حيث يصعب ملاحظة الانخفاض الطفيف في مقاومة الملف، ويفضل استبدال المحول ومراقبة أداء المحول الجديد .



الشكل(١٨) : في حالة وجود (شورت) في أحد ملفات المحول تنخفض فولتية الملف الثانوي وترتفع درجة حرارة المحول

٢ حدوث قِصر (شورت) جزئي بين بعض لفات أحد ملفي المحول وقلبه، وهذا يؤدي إلى تأريض الملف وانخفاض ملموس في فولتية الطرف الثانوي وارتفاع ملموس في درجة حرارة المحول . يمكن فحص هذا العطل بقياس المقاومة بين إطراف الملف الثانوي وقلب المحول باستعمال جهاز أومميتر تقليدي أو جهاز قياس مقاومة العزل (Megger).

٣ حدوث قِصر (شورت) كلي في أحد ملفي المحول أو كلاهما، في هذه الحالة تعدم فولتية الطرف الثانوي وترتفع درجة حرارة المحول بشكل ملحوظ، وقياس مقاومة الملف الثانوي يظهر مقاومة منخفضة جداً (صفر تقريباً).



الشكل (١٩): في حالة وجود (شورت) بين أحد ملفات المحول وقلبه الحديدي تنخفض فولتية الملف الثانوي وترتفع درجة حرارة المحول

أسئلة الدرس:

١ وضح بالرسم تركيب المحول الكهربائي.

٢ اشرح باختصار مبدأ عمل المحول الكهربائي.

٣ اذكر المتغيرات التي تعتمد عليها الفولتية المتولدة في الملف الثانوي للمحول الكهربائي.

٤ محول خافض 30/220 فولت، عدد لفات الملف الابتدائي 200 لفة، أحسب عدد لفات الملف الثانوي.

٥ محول خافض 220\25 فولت، تيار الملف الابتدائي 0.5 أمبير، أحسب تيار الملف الثانوي.

٦ محول يعمل من مصدر جهد 220 فولت، ونسبة عدد لفاته ($\frac{1}{11}$)، تيار ملفه الابتدائي 0.4 أمبير، أوجد فولتية ملفه الثانوي وتياره.

٧ محول قدرته 24 فولت-أمبير (VA)، فولتية ملفه الثانوي 12 فولت، أوجد القيمة القصوى للتيار الثانوي.

٨ عندما تريد تبديل محول تالف بآخر جديد، ما هي أهم المواصفات الفنية التي تشترطها في المحول الجديد؟

٩ أرسم الرموز الفنية للمحولات التالية:

أ محول القدرة.　ب المحول الذاتي الخافض.　ج المحول الذاتي الرافع.

د المحول ذو قلب الفرايت.　هـ المحول ذو نقطة الوسط.

١٠ ضع دارة حول الإجابة الصحية .

- يعتمد مبدأ عمل المحول على خاصية :
  - أ التأثير الذاتي .
  - ب التأثير المتبادل بين ملفين .
  - جـ التأثير الكهرومغناطيسي .
  - د جميع ما ذكر .
- وظيفة قلب المحول الأساسية هي :
  - أ حمل ملفات المحول .
  - ب يشكل الهيكل الخارجي للمحول .
  - جـ يركز خطوط المجال المغناطيسي التي ينتجها الملف الابتدائي وينقلها إلى الملف الثانوي .
  - د يركز خطوط المجال المغناطيسي التي ينتجها الملف الثانوي وينقلها إلى الملف الابتدائي .
- من أنواع القلب الحديدي :
  - أ القلب الحديدي المغلق .
  - ب القلب الحديدي القشري .
  - جـ القلب الحلقي .
  - د جميع ما ذكر .
- تعتمد نوع مادة قلب المحول على :
  - أ قيمة فولتية المصدر .
  - ب التيار الابتدائي .
  - جـ تيار الحمل .
  - د تردد الفولتية .
- يستخدم المحول ذو قلب الفرايت عند :
  - أ الترددات المنخفضة كترددات الفولتية المنزلية (50 هيرتز) .
  - ب الترددات المتوسطة
  - جـ الترددات الراديوية العالية .
  - د جميع ما ذكر .
- يمكن استعمال المحول الذاتي كمحول عزل .
  - أ صح .
  - ب خطأ .
- القدرة الخارجة من المحول لا تساوي القدرة الداخلة إلى المحول بسبب :
  - أ الفقد الحديدي .
  - ب الفقد النحاسي .
  - جـ استخدام نسبة لفات مخفضة للفولتية .
  - د أ+ب .
- تشكيل قلب المحول من رقائق الفولاذ السليكوني المعزولة فيما بينها بطبقه من الورنيش يسهم في :
  - أ تخفيض التيارات الإعصارية .
  - ب تخفيض حجم ووزن وكلفة المحول .
  - جـ تخفيض الخسائر النحاسية .
  - د زيادة متانة بنية المحول .
- ما هي نسبة عدد اللفات في محول مطبق علية جهد ابتدائي قدره (400) فولت ، فأعطى جهد ثانوي قدره (100) فولت؟
  - أ $(\frac{1}{4})$.
  - ب $(\frac{1}{5})$.
  - جـ $(\frac{1}{3})$.
  - د $(\frac{2}{4})$.

- محول خافض للفولتية، تيار ملفه الابتدائي (2) أمبير، القيمة المتوقعة لتيار ملفه الثانوي:

أ أقل من (2) أمبير. ب أعلى من (2) أمبير.

ج تساوي (2) أمبير. د يصعب التنبؤ.

- محول تحت الاختبار، يعاني من انخفاض ملموس في فولتية الطرف الثانوي وارتفاع ملحوظ في درجة حرارته، الأسباب المحتملة هي:

أ وجود قطع في الملف الثانوي. ب وجود قطع في الملف الابتدائي.

ج وجود شورت جزئي بين بعض لفات الملف الثانوي، أو وجود شورت في حمل المحول.

د جميع ما ذكر.

- محول لا يعمل مطلقاً رغم تزويد ملفه الابتدائي بالفولتية المقررة، الأسباب المحتملة هي:

أ حرق الملف الابتدائي. ب حرق الملف الثانوي.

ج وجود قصر (شورت) جزئي بين بعض لفات الملف الثانوي، أو وجود شورت في حمل المحول.

د أ+ب.

- حدوث قصر (شورت) جزئي بين بعض لفات الملف الثانوي وقلب المحول يؤدي إلى:

أ انخفاض فولتية الطرف الثانوي. ب ارتفاع درجة حرارة المحول.

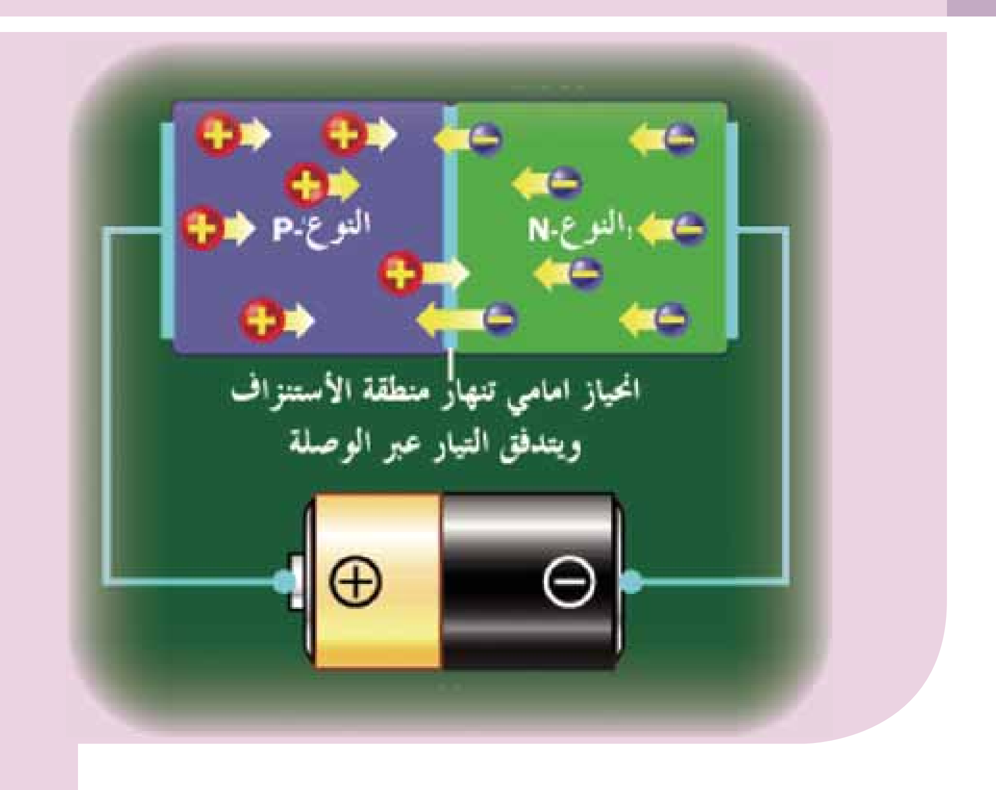
ج المحول لا يعمل نهائياً. د الإجابتين أ+ب.

- محول خافض للفولتية (110/220) فولت، عدد لفات الملف الابتدائي (400) لفة، عدد لفات الملف الثانوي:

أ 800 لفة. ب 200 لفة. ج 110لفة. د 220 لفة.



الـــثـــنـــائـــيـــات



الـــدرس ١

المواد شبه الموصلة Semiconductors

تصنع العناصر الإلكترونية الفعالة من المواد شبه الموصلة مثل السيليكون والجرمانيوم. وقبل الخوض في تركيب وعمل العناصر الفعالة المختلفة لا بد من تكوين فكرة عن المواد الشبه موصلة. يبحث هذا الباب في المواد شبه الموصلة من حيث تركيبها الذري والبلوري وخصائصها الكهربائية. ويتناول عملية التطعيم المستخدمة في التحكم وزيادة موصلية المواد شبه الموصلة النقية وإنتاج شبه الموصل السالب (N-type) وشبه الموصل الموجب (P-type).

ويتوقع منك بعد دراسة هذه الباب أن تصبح قادراً على أن:

١ تصنيف العناصر الإلكترونية المختلفة إلى عناصر فعالة وعناصر غير فعالة.

٢ تتعرف التركيب الذري والبلوري للمواد الشبه موصلة النقية وأثره في درجة توصيلها للتيار الكهربائي.

٣ تتعرف طرق زيادة الإلكترونات الحرة أو والفجوات الموجبة بإضافة الشوائب للمادة الشبه موصلة.

٤ تميز الفرق في الخواص بين المواد شبه الموصلة الموجبة (P-type) وتلك السالبة (N-type).

١ العناصر الإلكترونية Electronic Devices

تتكون الدارات الإلكترونية على اختلاف أنواعها من نوعين أساسيين من العناصر وهي:

أ العناصر الخاملة (Passive Devices):

هي عناصر لا تقوم بعملية التكبير أو تضخيم القدرة في الدارة أو النظام كما أنه لا يقوم بعملية التحكم، ولا يحتاج سوى إلى الإشارة الداخلة حتى تقوم بعملها إضافة إلى ذلك إن مقاومتها أو ممانعتها ثابتة إذا كانت الإشارة المسلطة عليها ثابتة التردد كالمقاومات والملفات والمواسعات.

ب العناصر الفعالة (Active Devices):

وهي عناصر صنعت بهدف التحكم بسريان التيار الكهربائي بصورة أو بأخرى، وهي قادرة على القيام بعملية التبديل(الانتقال من حالة التوصيل إلى حالة القطع وبالعكس) أو عملية التضخيم أو كلاهما. ومن أشهر هذه العناصر الترانزيستورات والثنائيات (الديودات) والثايرستورات والدارات المتكاملة(IC)، المبينة في الشكل (١).

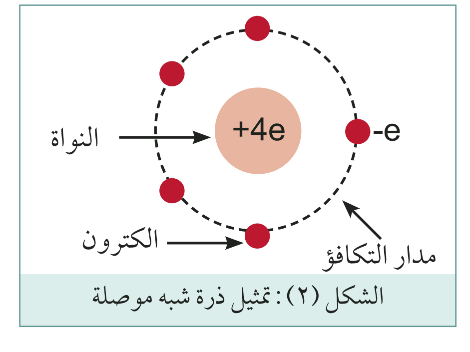


الشكل (١): بعض العناصر الفعالة: دايودات وترانزستورات ودارات متكاملة.

وتصنع العناصر الفعالة من المواد شبه الموصلة مثل السيليكون والجرمانيوم . لذا يطلق عليها أشباه الموصلات .
وقبل الخوض في تركيب وعمل العناصر الفعالة المختلفة لا بد من تكوين فكرة عن المواد الشبه موصلة .

٢ الروابط التساهمية في المواد شبه الموصلة

يعد عنصري السيليكون (Si) و الجرمانيوم (Ge) من أهم العناصر المستخدمة في صناعة اشباه الموصلات . وكلا هما يقع ضمن المجموعة الرابعة من الجدول الدوري للعناصر .



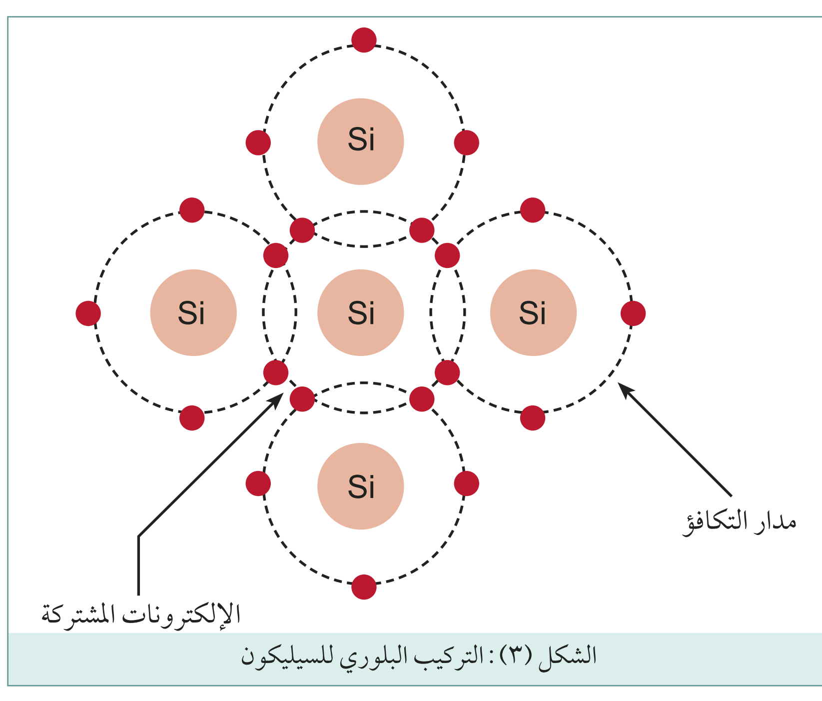
الشكل (٢) : تمثيل ذرة شبه موصلة

وتمثل الذرة بنواة شحنتها موجبة بقيمة اربع أضعاف شحنة الالكترون(+4e) تحيط بها اربعة الكترونات لكل منها شحنة سالبة (-e) كما في الشكل (٢)

وفي هذه الوحدة سنتناول عنصر السيلكون كمثال في توضيح عمل اشباة الموصلات

من الشكل السابق نلاحظ ان ذرة السيلكون تحتوي في مدارها الاخير على اربع الكترونات (نصف عدد الالكترونات اللازمة لاشباع مدارها الاخير وهذا التشكيل يجعل ذرة السيلكون لا تميل لفقد الكتروناتها لتصبح ايون موجب ولا تميل لكسب اربع الكترونات لتصبح ايون موجب ، لذلك تكون ذرة السيلكون ميالة لتساهم (تشارك) بالكتروناتها مع ذرة أو اكثر للحصول على مدار مكتمل من ثمان الكترونات يدور حول الذرات المساهمة (المشاركة) وتسمى هذه العملية بالرابطة التساهمية .

في الحالة الصلبة تتجمع ذرات السيلكون مشكلة بلورة (Crystal) ثلاثية الابعاد رباعية الاوجه و تتمركز ذرة سيلكون على كل رأس من رؤوس البلورة ، وهذا التركيب يسمح لذرة السيلكون الواحدة بمجاورة اربع ذرات سيلكون أخرى .

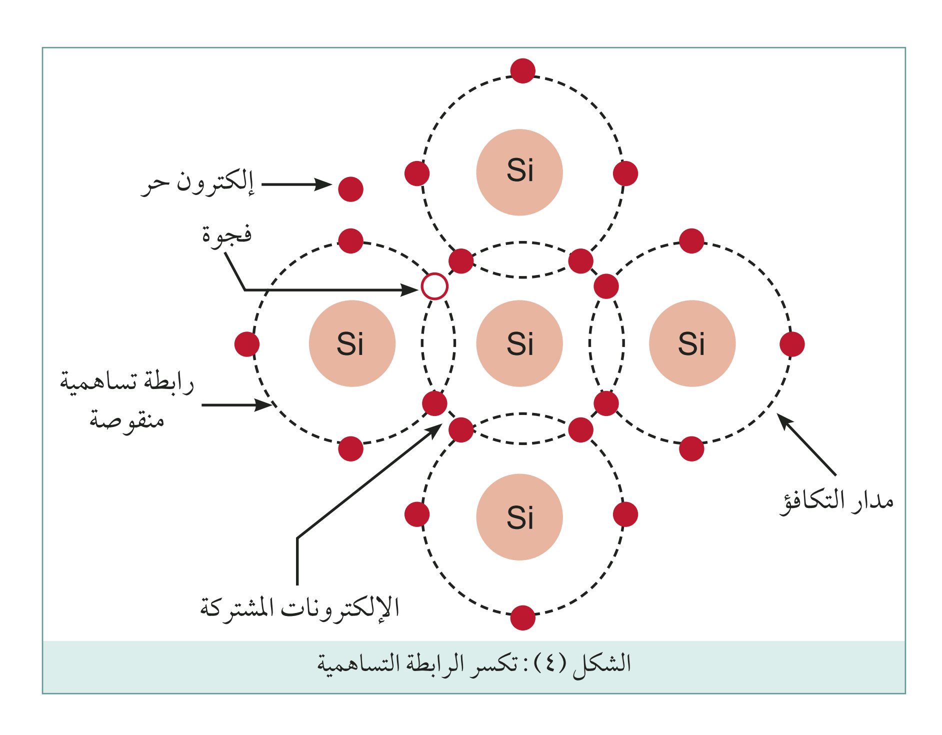


الشكل (٣) : التركيب البلوري للسيليكون

تشارك ذرة السيلكون بالكتروناتها الاربعة لتكوين اربع روابط تساهمية مع ذرات السيلكون المجاورة كما في الشكل (٣)

عند درجة الحرارة المنخفضة(الصفر المطلق) تتصرف بلورة السيلكون كعازل(مقاومة عالية) و ذلك لعدم وجود الكترونات حرة(غير مشاركة في روابط

تساهمية) على سطح البلورة ، و بارتفاع درجة الحرارة الى حرارة الغرفة ، تتكسر بعض الروابط التساهمية بفعل الطاقة الحرارية كما يبن الشكل (٤)



الشكل (٤) : تكسر الرابطة التساهمية

حيث يمكننا القول بأن الكترونا طُرد من الرابطة التساهمية و اصبح حر الحركة تاركاً مكانه فارغاً ويطلق على الرابطة التساهمية غير المكتملة المتشكلة فجوة (Hole)، في حال تكون رابطة تساهمية غير مكتملة توجد امكانية بأن يغادر الكتروناً رابطة تساهمية مجاورة لسد الفجوة المتكونة تاركاً مكانه فارغاً اي انة تتكون رابطة تساهمية غير مكتملة أخرى ، وهنا يمكن تمييز نوعين من الحركة حركة الالكترونات (Electrons) وحركة الروابط التساهمية الغير مكتملة (الفجوات Holes)، حيث تتحرك الالكترونات في اتجاه معاكس لحركة الفجوات كما في الشكل (٥).

7 6 5 4 3 2 1

الشكل (٥) : اتجاه حركة الالكترونات والفجوات

لنفرض ان الكترونا غادر ذرة رقم 2 ليسد الفجوة في ذرة رقم 3 فان الفجوة تنتقل بحركة معاكسة من رقم 3 الى رقم 2

ويطلق على الالكترونات و الفجوات حاملات الشحنة، وفي بلورة السيلكون النقية يتساوى عدد الالكترونات و الفجوات.

سؤال : علل "يتساوى عدد الالكترونات والفجوات في بلورة السيلكون النقية "

٣ تطعيم المواد شبه الموصلة (Doping)

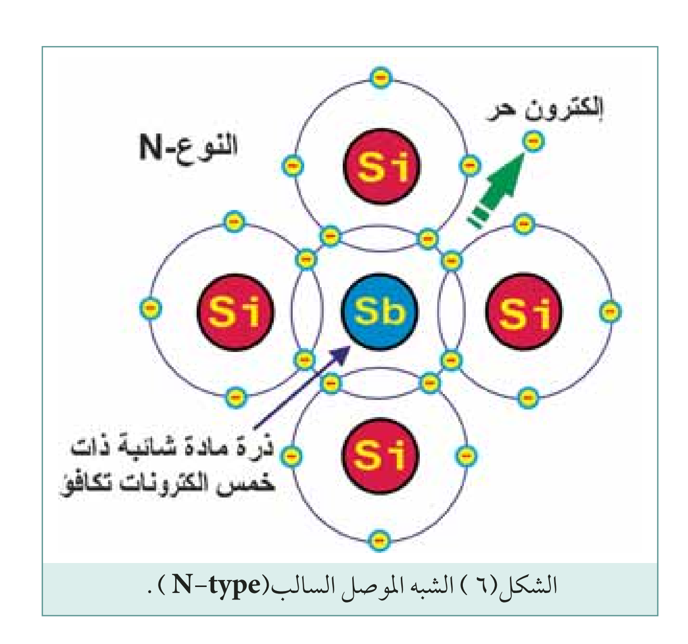
كما اسلفنا فان حاملات الشحنة المتكونة في بلورة السيلكون تكون قليلة نسبياُ فهي تعتمد على درجة الحرارة و لذلك تكون موصلية السيلكون قليلة (مقاومة عالية) ولتحسين موصلية السيلكون تضاف ذرة احد عناصر المجموعة الثالثة او المجموعة الخامسة الى بلورة السيلكون النقي بحيث تحل هذه الذرة محل احد ذرات السيلكون في البلورة لتعمل على تغير تشكيل البلورة ، ويطلق على الذرة المضافة (بالشائبة) لاختلافها عن ذرات بلورة

السيلكون .

فالمقصود بالتطعيم (Doping) هو زرع ذرة شائبة لاحد عناصر المجموعة الثالثة في الجدول الدوري أو المجموعة الخامسة في بلورة السيلكون النقي و ذلك من اجل تحسين موصلية بلورة السيلكون. و عادة مل يكون التطعيم بنسب قليلة جداُ (ذرة شائبة لكل مائة مليون ذرة)

أ المواد المانحة (Donors) :

عند اضافة ذرة من احد عناصر المجموعة الخامسة و التي تحوي على خمسة الكترونات في مدارها الاخير(الفسفور مثلاً) فأن ذرة الفسفور تشكل اربعة روابط تساهمية مع اربع ذرات سيلكون مجاورة في البلورة مستخدمة اربعة من الكتروناتها الخمسة في حين يبقى الالكترون الخامس حراُ كما في الشكل (٦)، حيث يضاف هذا الالكترون الى مجموع الالكترونات الناتجة عن درجة الحرارة فتكون المحصلة زيادة في عدد الالكترونات في البلورة و من جهة أخرى يبقى عدد الفجوات ثابت القيمة غير متأثر بعملية اضافة الذرة الشائبة ، ولأن عملية اضافة ذرة شائبة من احد عناصر المجموعة الخامسة يؤدي ال زيادة عدد الالكترونات تسمى هذة العناصر بالمانحة (Donors) و تسمى بلورة السيلكون المطعمة نوع السالب (n-type) .



الشكل(٦) الشبه الموصل السالب(N-type) .

ان بلورة السيلكون المطعمة نوع (n-type) لديها نوعين من حاملات الشحنة وهما الالكترونات وهي الاكثر عدداُ و تسمى حاملات الشحنة الاكثرية (majority charge carriers) و الفجوات و تسمى بحاملات الشحنة الاقلية (minority charge carriers)

ب المواد المتقبلة (Acceptors)

عند اضافة ذرة من احد عناصر المجموعة الثالثة و التي تحوي على ثلاثة الكترونات في مدارها الاخير(البورون مثلاً) فأن ذرة البورون تشكل ثلاثة روابط تساهمية مكتملة مع ثلاث ذرات سيلكون مجاورة في البلورة مستخدمة الكتروناتها الثلاثة في حين تبقى رابطة تساهمية غير مكتملة (فجوة hole) كما في الشكل (٧)

الشكل(٧) : الشبه الموصل الموجب (P--type) .

حيث تضاف هذة الفجوة الى مجموع الفجوات الناتجة عن درجة الحرارة فتكون المحصلة زيادة في عدد الفجوات في البلورة و من جهة أخرى يبقى عدد الالكترونات ثابت القيمة غير متأثر بعملية اضافة الذرة الشائبة ، ولأن عملية اضافة ذرة شائبة من احد عناصر المجموعة الثالثة يؤدي ال زيادة عدد الفجوات تسمى هذة العناصر بالشوائب المتقبلة (Acceptors) و تسمى بلورة السيلكون المطعمة نوع الموجب (p-type impurities) .

ان بلورة السيلكون النقي المطعمة نوع الموجب (p-type) لديها نوعين من حاملات الشحنة وهما الفجوات وهي الاكثر عدداً و تسمى حاملات الشحنة الاكثرية (majority charge carriers) و الالكترونات و تسمى بحاملات الشحنة الاقلية (minority charge carriers)

٤ وصلة موجب - سالب p-n juction:

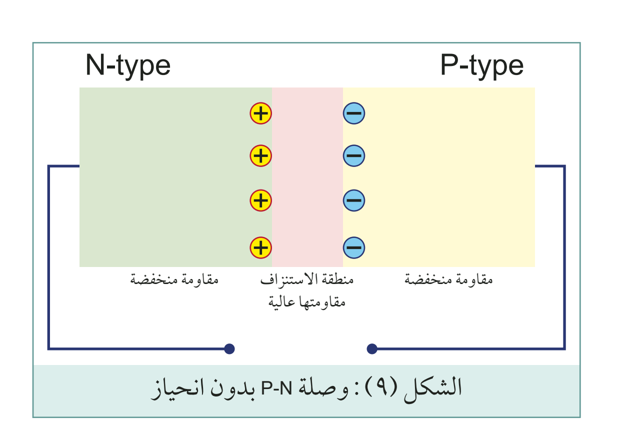
N-type P-type

منطقة الوصلة

الشكل (٨): وصلة P-N

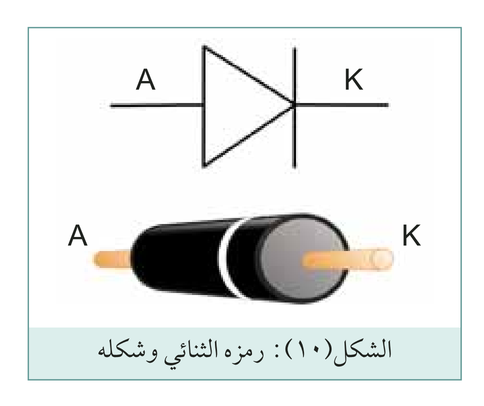
عند تطعيم بلورة من السيلكون النقي بعنصر من الشوائب المانحة في احد اطرافها و بعنصر من الشوائب المتقبلة في الطرف الاخر سيتكون في البلورة نوعين من السيلكون نوع (n-type) و نوع (p-type) بينهما منطقة فاصلة تعرف بالوصلة(junction) كما في الشكل (٨)

وفي الشكل تم عرض الالكترونات و الفجوات الحرة فقط ، ويلاحظ ان الطرف الايمن للوصلة يحتوي على عدد كبير من الفجوات و عدد قليل من الالكترونات في حين يحتوي الطرف الايسر على عدد كبير من الالكترونات و عدد قليل من الفجوات ، تتحرك حاملات الشحنة حركة عشوائية في الشريحة ، و نظراً لوجود عدد اكبر من الالكترونات الى يسار الوصلة ، و عدد اكبر من الفجوات الى يمين الوصلة ، فان الالكترونات تعبر الوصلة من اليسار الى اليمين في حين تعبر الفجوات من اليمين الى اليسار و بكلمات ادق يمكنك القول بان الشريحة السالبة تكسب فجوات وتفقد الكترونات والشريحة الموجبة تكسب الكترونات و تفقد فجوات و تسمى هذه العملية بالانتشار(diffusion) ويمكن و صفها برغبة حاملات الشحنة بالابتعاد عن مناطق الكثافة العالية للشحنة، و نتيجة لعملية الانتشار تصبح المنطقة على يسار الوصلة موجبة وعلى يمينها سالبة كما في الشكل (٩)، وتستمر ظاهرة الانتشارحتى يتكون مجال كهربائي



الشكل (٩): وصلة P-N بدون انحياز

على جانبي الوصلة بشدة كافية تمنع حاملات الشحنة من الاستمرار في الانتشار لتصبح محصلة الحركة في منطقة الوصلة لحاملات الشحنة مساوياً للصفر وينتج المجال الكهربائي المتولد جهدا كهربائيا يسمى جهد الحاجز



الشكل(١٠): رمزه الثنائي وشكله

(Potential Barrier) وبسبب الفرق في الجهد فان اي من حاملات الشحنة الموجبة او السالبة التي تمر عبر الوصلة تزاح خارجها بمعنى ان منطقة الوصلة تبقى مفرغة من الشحنات و يطلق عليها منطقة الاستنزاف(Depletion Region) وكون منطقة الاستنزاف خالية من الشحنات فهي ذات مقاومة عالية ،وتبلغ فولطية الحاجز لوصلة الجرمانيوم 0.3 فولط و للسيلكون 0.7 فولط ويطلق على وصلة موجب– سالب (p-n) اسم ثنائي (Diode) ويسمى طرف الشريحة الموجبة بالمصعد(Anode) وطرف الشريحة السالبة بالمهبط (Cathode) كما في الشكل (١٠) .

أسئلة

أكمل الفراغات التالية بالعبارات المناسبة :

١. أشهر المواد الشبه موصلة المستخدمة في صناعة العناصر الإلكترونية .... يليه في ذلك ....
٢. التطعيم هي عملية .... والهدف من عملية التطعيم هو ....
٣. يحتوى الشبه موصل السالب على عدد هائل من ....
٤. يمكن الحصول على الشبه موصل السالب بإضافة .... إلى ....
٥. يحتوى الشبه موصل الموجب على عدد هائل من ....
٦. يمكن الحصول على الشبه موصل الموجب بإضافة .... إلى ....



الثنائيات (Diodes)

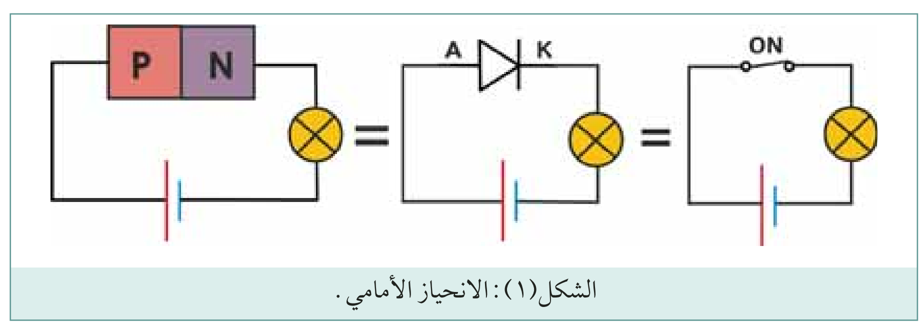
الثنائي عنصر فعال ذو طرفين (مصعد/ مهبط)، يسمح بمرور التيار في اتجاه واحد، ويمنع التيار في الاتجاه المعاكس. يتركب ثنائي أشباه الموصلات من وصلة (p-n)تشكل على شريحة واحدة من مادة شبه موصلة. ويسمى الطرف المتصل بالمادة نوع (p) بالأنود، ويرمز له بالحرف (A). ويسمى الطرف المتصل بالمادة نوع (n) بالكاثود، ويرمز له بالحرف (K). بالنسبة للثنائيات الكبيرة الحجم نسبياً، يطبع رمز الثنائي على جسم الثنائي ليوضح أي الأقطاب هو الأنود وأيها هو الكاثود. الثنائيات الأصغر حجماً هناك حلقة بيضاء حول أحد نهايتي تبين الكاثود. الثنائيات الزجاجية مع حلقات متعددة الألوان يبين الكاثود بواسطة حلقة سوداء اللون.

١ وصف عمل الثنائي

يعمل الثنائي على توصيل التيار عند تشغيله على حالة الانحياز الأمامي بينما لا يسمح بمرور التيار عند تشغيله على حالة الانحياز العكسي.

الانحياز الأمامي (Forward Bias)

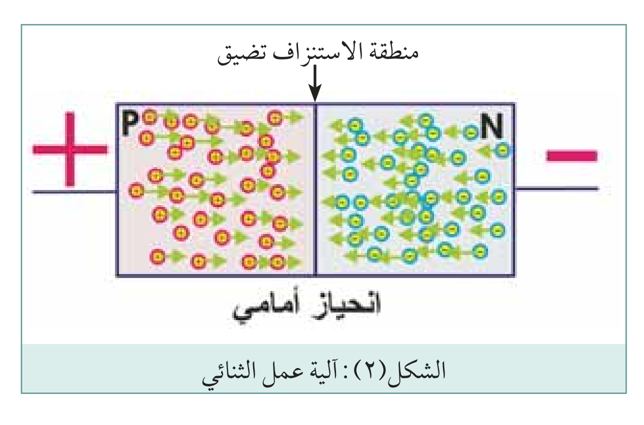
في حالة الانحياز الأمامي يوصل الأنود (النوع الموجب) بالقطب الموجب للمصدر بينما يوصل الكاثود (النوع السالب) بالقطب السالب للمصدر وفي هذه الحالة يتصرف الثنائي وكأنه مفتاح في حالة توصيل (ON) أي المقاومة بين طرفيه منخفضة جداً ويعمل على تمرير التيار.



الشكل(١): الانحياز الأمامي.

والجدير بالذكر أن الثنائي ينحاز أمامياً عندما يكون الأنود أكثر إيجابية من الكاثود بقيمة جهد تزيد عن (٠,٧) فولت بالنسبة لثنائي السيليكون، و(٠,٣) فولت بالنسبة لثنائي الجرمانيوم. ويعرف هذا الجهد بـ (هبوط الجهد الأمامي) ويرمز له بالأحرف (V_f).

يمثل الشكل (٢) ثنائي في حالة انحياز امامي، ولسهولة التحليل سوف نعتبر ان القطب الموجب للبطارية هو مصدر للفجوات و القطب السالب للبطارية هو مصدر للالكترونات بذلك فإن الفجوات الصادرة من القطب الموجب للبطارية تجذب باتجاة الوصلة والالكترونات الصادرة من القطب السالب تجذب باتجاة الوصلة من الطرف المعاكس و استمرار

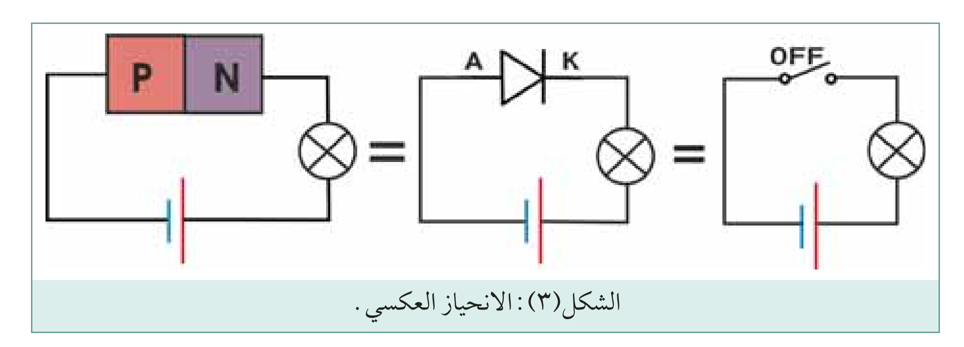


الشكل(٢) : آلية عمل الثنائي

هذا الوضع يؤدي تناقص كل من عرض منطقة الاستنزاف و فوطية الحاجز وفي هذة الحالة يقال ان الوصلة في حالة انحياز امامي ، و بنقصان فولطية الحاجز فان حاملات الشحنة الاكثرية من كلا الطرفين تمر عبر الوصلة من طرف الى اخر و يكون التيار الكلي المار في الثنائي مساوياً لمحصلة حركة حاملات الشحنة الموجبة (holes) وحاملات الشحنة السالبة (electrons) و بكلمات اخرى فان التيار المار في الشريحة الموجبة (p-type) ينتج عن حركة حاملات الشحنة الموجبة (holes) في حين ان التيار المار في الشريحة السالبة (n-type) ناتج من حركة حاملات الشحنة السالبة (electrons) وعلى العموم فان التيار المار في الثنائي فى حالة الانحياز الامامي ناتج عن حركة حاملات الشحنة الاكثرية .

الانحياز العكسي (Reverse Bias)

في حالة الانحياز العكسي يوصل الأنود (النوع الموجب) بالقطب السالب للمصدر، ويوصل الكاثود (النوع السالب) بالقطب الموجب للمصدر. وفي هذه الحالة تصبح المقاومة بين طرفي الثنائي مرتفعة جداً، ويتصرف الثنائي كمفتاح في حالة قطع (OFF) ولا يسمح بمرور التيار الكهربائي عبره.

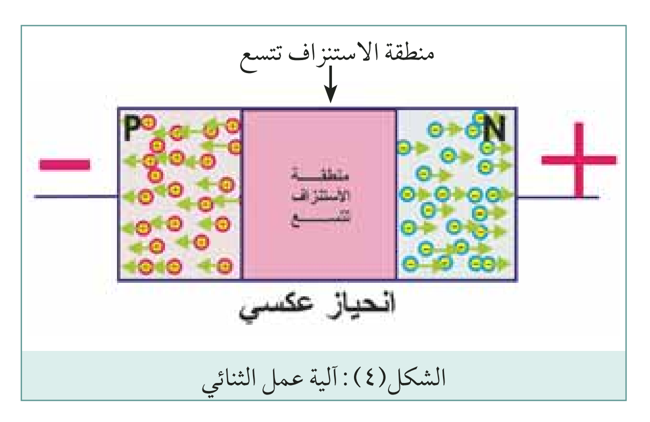


الشكل(٣) : الانحياز العكسي.

وهكذا يتضح أن عمل الثنائي يشبه عمل الصمام أحادي الاتجاه الذي يسمح بمرور التيار في اتجاه واحد، ويمنع مرور التيار في الاتجاه المعاكس.

يمثل الشكل (٤) ثنائياً موصولاً في حالة انحياز عكسي، بطريقة تسمح بسحب حاملات الشحنة الاكثرية بعيداً عن الوصلة ، حيث يعمل الجهد الخارجي على سحب حاملات الشحنة الموجبة(الفجوات) الى يمين الوصلة و حاملات الشحنة السالبة(الالكترونات) الى يسار الوصلة ليزداد عرض منطقة الاستنزاف و ما يرافقه من زيادة في

فولطة الحاجز لتقترب من فولطة مصدر التغذية، وفي مثل هذا الوضع لا يمر في الوصلة الا حاملات الشحنة الاقلية وهي قليلة العدد و تعتمد قيمتها على درجة الحرارة منتجة تياراً صغيراً يسمى تيار التشبع العكسي (reverse saturation current) .



الشكل(٤): آلية عمل الثنائي

٢ المنحنى المميز للثنائي

يبين الشكل (٤) المنحنى المميز لثنائي مصنوع من مادة السيليكون. وهذا المنحنى يوضح علاقة التيار عبر الثنائي بالجهد بين طرفي الثنائي وذلك في حالة الانحياز الأمامي والعكسي.

الانحياز الأمامي

يبين المنحنى أن هبوط الجهد الأمامي (V_f) ويساوي تقريباً (٠,٧) فولت لثنائي السيليكون بغض النظر عن قيمة التيار الأمامي (I_F) المار عبر الثنائي.

الانحياز العكسي

أن المنحنى يبين أيضاً مميزات الانحياز العكسي في هذه الحالة تكون مقاومة الثنائي مرتفعة جداً ولا تمرر أي تيار صغير جداً بحيث يمكن إهماله ويسمى تيار التسريب.

عندما يزداد الجهد العكسي عن نقطة معينة ينهار الثنائي ويبدأ بتمرير التيار وهذا يؤدي إلى تلف الثنائي ويسمى هذا الجهد جهد الانهيار العكسي.

٣ المواصفات الفنية للثنائي

من أهم المواصفات الفنية للثنائي التي يجب مراعاتها عند استبدال ثنائي تالف في دارة ما أو عند اختيار ثنائي لاستخدامه في دارة معينة كما يلي:

أ التيار الأمامي:

وهو أقصى تيار يمكن أن يمرره الثنائي في حالة الانحياز الأمامي دون أن يتلف.

ب الجهد العكسي الأقصى:

وهو أقصى جهد يمكن أن يتحمله الثنائي في حالة الانحياز العكسي قبل أن ينهار ويبدأ بتمرير التيار الذي يؤدي إلى تلفه.

الشركات المصنعة للثنائيات تقوم بالعادة بتحديد القيمة القصوى للجهد العكسي المتكرر (V_{RRM}) أو القيمة الذروية

للجهد العكسي (PIV)، بدلاً من الجهد العكسي الأقصى. وفي كلا الحالتين فإن تشغيل الثنائي ما بعد هذا الجهد قد يؤدي إلى تلفه. ويبين الجدول المبين أدناه مواصفات بعض الثنائيات الشائعة الاستخدام في الدارات الإلكترونية.

النـــوع	OA47	OA91	IN4148	IN4007	IN5402
المـــادة	Ge جرمانيوم	Ge جرمانيوم	Si سيليكون	Si سيليكون	Si سيليكون
الفولتية الأمامية القصوى (V_f)	0.6V	2.1V	1.0V	1.6V	I V
التيار الأمامي الأقصى (I_F)	50mA	50mA	100mA	1 A	3A
القيمة القصوى للجهد العكسي المتكرر (V_{RRM})	25V	115V	75V	1 KV	220v
الاستعمال	كاشف	أغراض عامة	ثنائي إشارة	موحد للفولتية العالية	موحد للفولتية المتدنية

الجدول (١)

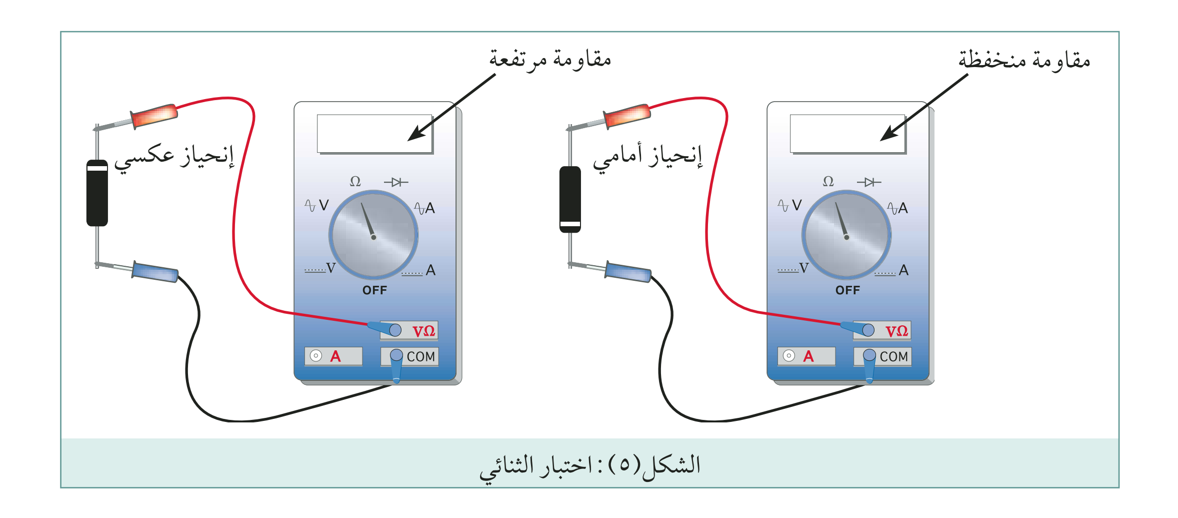
ويجري أحياناً تقسيم الثنائيات إلى (ثنائيات للإشارة) و(ثنائيات للتوحيد)، وفقاً لمجال استعمالها الأساسي. وتكون متطلبات الثنائيات لكل من الفئتين مختلفة تماماً. فثنائيات الإشارة تتطلب هبوط جهد أمامي منخفض، ومن هنا فإن ثنائيات الجرمانيوم تكون مناسبة لهذا الغرض.

ويجب أن تكون ثنائيات التوحيد أو التقويم، من جهة أخرى، قادرة على تحمل قيم عالية من الجهد العكسي، وقيم كبيرة من التيار الأمامي، لذلك تستعمل ثنائيات السيليكون لهذا الغرض.

تتوفر الديودات السلكية الأطراف بشكل عام بتيار أمامي أقصى يصل لغاية ٦ أمبير وجهد عكسي أقصى لغاية (١٥٠٠) فولت. أما الديودات المقلوظة الأطراف المصممة للتركيب على مبددات حرارية فتتوفر بتيار أمامي مقرر يتراوح ما بين (١٦) أمبير إلى (٧٥) أمبير.

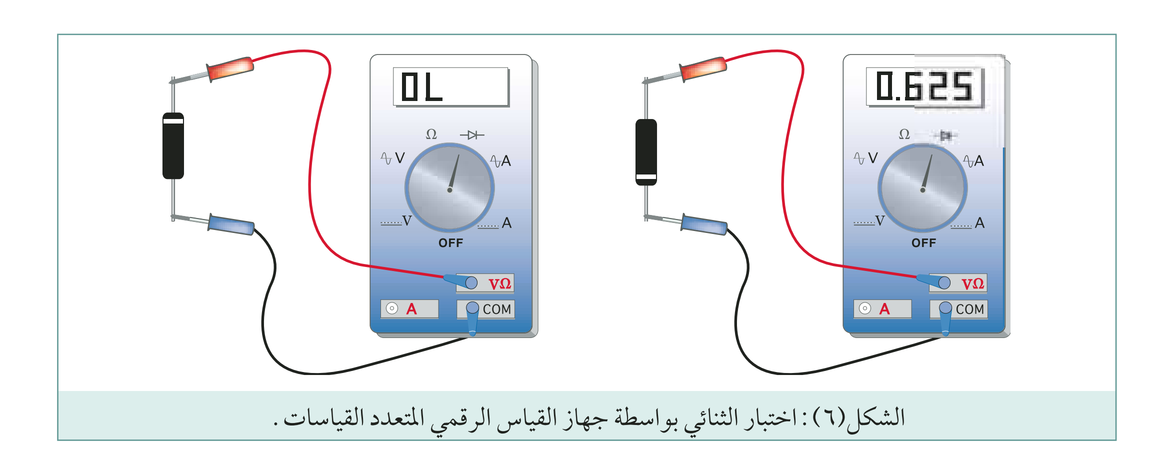
٤ اختبار الثنائيات

يمكن اختبار الثنائي باستخدام جهاز قياس الأوم على النحو الآتي: ضع أقطاب مقياس الأوم كما في الشكل (٥). إن قراءة الأوم يجب أن تكون منخفضة في حالة الانحياز الأمامي. ويجب أن تكون مرتفعة في حالة الانحياز العكسي، وما غير ذلك يعتبر الثنائي تالف. ويجب التنويه أن قطبية أطراف جهاز الأفوميتر ذو المؤشر تكون معكوسة(الطرف الأحمر سالب والطرف الأسود موجب)وذلك لأن بطارية الجهاز الداخلية تكون معكوسة.



الشكل(٥): اختبار الثنائي

جهاز القياس الرقمي المتعدد القياسات (Digital Multimeter) الذي يمتلك ميزة اختبار الثنائي، يعمل على قياس قيمة هبوط الجهد الأمامي بين طرفي الثنائي والتي تتراوح من ٠,٣ الى١,٢ فولت لثنائي السليم، لاحظ الشكل (٦).



الشكل(٦): اختبار الثنائي بواسطة جهاز القياس الرقمي المتعدد القياسات.

الثنائيات الخاصة

هناك أنواع عدة من الثنائيات ذات الصفات المميزة، وكلها مهمة لوجود تطبيقات كثيرة تستفيد من الخصائص المميزة لهذه الثنائيات. وسنقتصر في شرحنا هنا على بعض أنواع هذه الثنائيات الخاصة لأهميتها.

١ زينر ثنائي (Zener Diode)

ثنائيات زينر هي ثنائيات سيليكونية تزيد شوائبها الممتزجة عن شوائب الثنائي المعتاد، بحيث يحدث الانهيار العكسي عند قيم محددة مسبقاً وأقل نسبياً. وتتوفر ثنائيات زينر تجارياً بجهود انهيار عكسية (جهود زينر) مفضلة –منها على سبيل المثال (٧ر٢) فولت و(٤,٧)فولت و(٥,١)فولت و(٦,٢)فولت و(٦,٨)فولت و(٩,١)فولت و(١٠)فولت و(١١)فولت و(١٢)فولت وهكذا إلى (٢٠٠) فولت. وقد صممت هذه الثنائيات خصيصاً لتبدد

الحرارة المتولدة أثناء التشغيل في حالة الانهيار العكسي، ولن تتلف ما لم تتجاوز قيمة التيار العكسي المتدفق عبر الزينر القيمة القصوى المقررة (I_{zm}) ويبين الشكل (٧) التالي رمز ثنائي زينر وشكله الشائع.

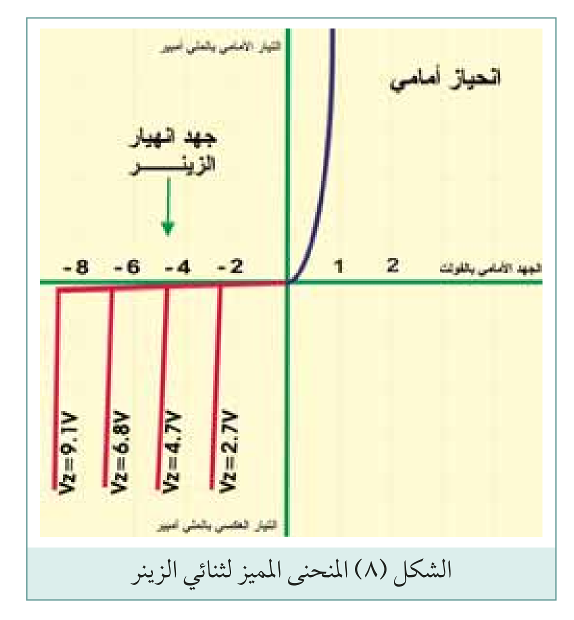


الشكل(٧): رمز ثنائي زينر وشكله الشائع.

وفي حالة الانحياز الأمامي يتصرف ثنائي زينر مثل الثنائي المعتاد حيث يسمح بتدفق التيار الأمامي عبره. ولكن في حالة الانحياز العكسي، فإنه لن يسمح بمرور التيار حتى تبلغ قيمة الجهد العكسي المسلط بين طرفيه قيمة جهد زينر (V_z) المصمم عنده. وعند هذه النقطة يمرر الزينر التيار في الاتجاه العكسي، ويبقى الجهد بين طرفيه ثابتاً بالرغم من التغير في قيمة التيار العكسي المتدفق عبره. ويوضح الشكل (٨) المنحنى المميز لثنائي زينر.

أ المواصفات الفنية للزينرات

من أهم المواصفات التي يجب مراعاتها عند استبدال ثنائي زينر تالف في دارة ما، أو عند اختيار ثنائي زينر لاستخدامه في دارة معينة ما يلي:



الشكل (٨) المنحنى المميز لثنائي الزينر

١ جهد الزينر (V_z):

هي قيمة الجهد العكسي الذي ينهار عندها الزينر ويبدأ بتمرير التيار العكسي ويبقى هذا الجهد ثابتاً بالرغم من التغيرات في قيمة التيار العكسي.

٢ القدرة القصوى (P_{zm}):

وهي أقصى قدرة بالواط ممكن أن تبددها ثنائي في حالة الانهيار العكسي دون أن يتلف، وتعطى بالمعادلة التالية:

$$P_{ZM} = I_{ZM} V_Z$$

حيث أن: (I_{ZM}) هي القيمة القصوى للتيار العكسي، ويبين الجدول (٢) مواصفات بعض أنواع ثنائيات زينر الشائعة.

مدى الجهود المتوفرة	العبوة	القدرة	السلسلة
2.7V to 15V	زجاجي	500mW	BZY 88 series
5.1V to 62V	زجاجي	1.3w	BZX 85 series
7.5V to 72V	زجاجي	1.3w	BZX 61 series
2.4V to 91V	زجاجي	500mW	BZX 55 series

BZY 93 series	20W	برغي	9.1V to 75V
BZY 97 series	1.5W	بلاستيكي	9.1V to 37V
IN 5333 series	5W	بلاستيكي	3.3V to 24V

بالعادة يطبع على جسم الزينر السلسلة التي ينتمي إليها وجهد الزينر. وعلى سبيل المثال(BZY88C9VI) تعني أن ثنائي الزينر ينتمي إلى السلسلة (BZY88) أما جهد الزينر فهو (٩ر١) فولت.

ب منظم الزينر

منظم الزينر هو عبارة عن دارة وظيفتها توفير جهد تغذية ثابت القيمة بالرغم من التغيرات في جهد الدخل أو تيار الحمل، ويبين الشكل (٩) دارة منظم جهد تستخدم ثنائي زينر. في هذه الدارة يعمل الزينر على منوال الانهيار العكسي، حيث يوصل الكاثود بالقطب الموجب. ويوصل الحمل (R_L) بالتوازي مع الزينر، وهكذا يحصل الحمل على الجهد الثابت بين طرفي الزينر (V_z).

يتم تغذية دارة المنظم من مصدر جهد غير منظم، ويجب أن تكون قيمة جهد المصدر أكبر من جهد الزينر بمقدار يضمن بقاء الزينر في حالة انحياز عكسي طيلة الوقت، ولضمان ذلك توصل المقاومة التسلسلية (R_S) بهدف تحديد قيمة التيار (حماية الزينر) وضمان عمل الزينر في حالة الانحياز العكسي، وأسوأ الاحتمالات بالنسبة للتنظيم عندما يكون تيار الحمل أعلى ما يمكن وجهد الدخل أقل ما يمكن وتنحصر قيمتها بين القيمتين R_{S}- R_{Smin} ، R_{max} حسب المعادلة التالية:

الشكل(٩): دارة منظم زينر.

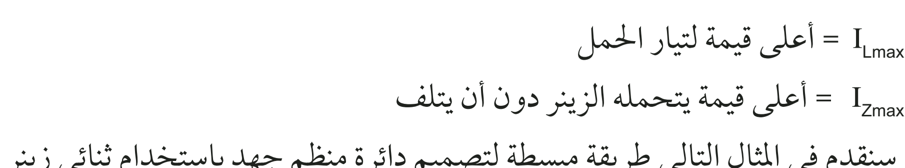
$$R_{Smax} = \frac{V_{IN(min)} - V_Z}{I_{Lmax}} \qquad R_{Smin} = \frac{V_{IN(max)} - V_Z}{I_{zmax}}$$

بحيث تكون $R_{Smin} < R_S < R_{Smax}$

حيث أن:

V_{IN} = جهد المصدر

V_Z = جهد الزينر



I_{Lmax} = أعلى قيمة لتيار الحمل

I_{Zmax} = أعلى قيمة يتحمله الزينر دون أن يتلف

وسنقدم في المثال التالي طريقة مبسطة لتصميم دائرة منظم جهد باستخدام ثنائي زينر.

مـــثـــال

في دارة منظم جهد إذا كان جهد المصدر يتغير من 15-20 فولت وتيار الحمل يتغير ما بين 5-20 ميلي أمبير فإذا كان جهد الزينر 6.8 فولت، أوجد أكبر قيمة لمقاومة التوالي R_S.

الحـــــــل

$$R_{Smax} = \frac{V_{IN(min)} - V_Z}{I_{Lmax}}$$

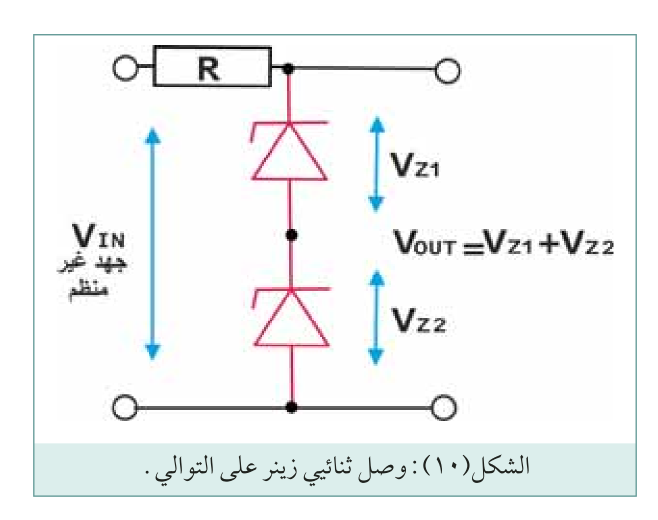
$$R_{Smax} = \frac{15 - 6.8}{20 \times 10^{-3}}$$

$$R_{Smax} = 410\ \Omega$$

والجدير بالذكر أن منظمات الجهد من هذا النوع، لا تناسب إلا التطبيقات التي يسري فيها تيار متدني (50mA) أو أقل، ويجب التنويه انه يمكن وصل عدة ثنائيات زينر على التوالي للحصول على جهد الزينر المطلوب، كما مبين في الشكل (١٠).

ج اختبار ثنائي الزينر

يمكن اختبار ثنائيات زينر بصورة سريعة باستخدام جهاز قياس الأوم، وبنفس الأسلوب المتبع في اختبار الثنائيات التقليدية كما ورد سابقا.



الشكل(١٠): وصل ثنائيي زينر على التوالي.

الشكل(١١): اختبار ثنائي الزينر

وللحصول على نتائج أكثر دقة، يمكن بناء الدائرة البسيطة المبينة في الشكل (١١)، والتي تمكننا من قياس هبوط الجهد بين طرفي الزينر في منوال الانهيار العكسي، والذي يجب أن يكون مساوياً لجهد زينر المقرر.

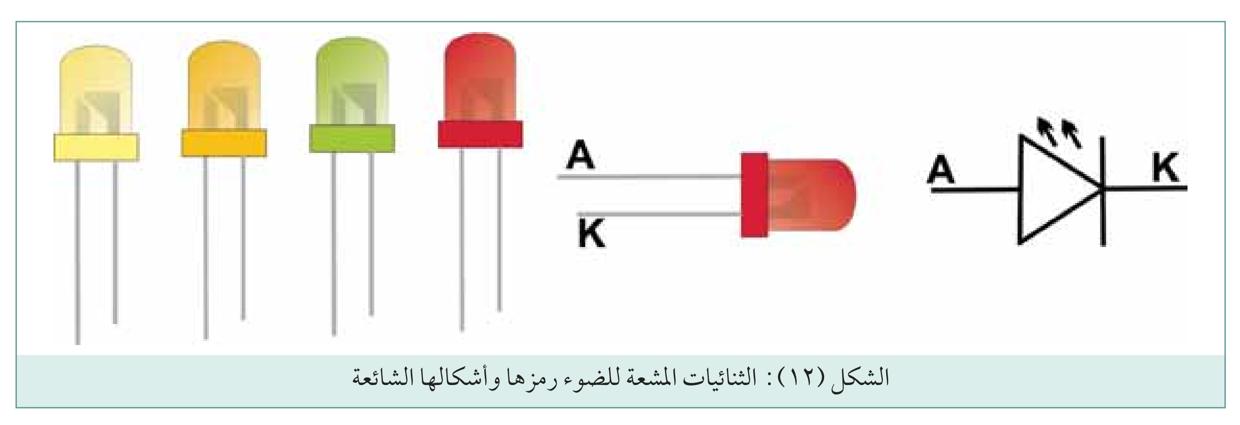
٢ الثنائي المشع للضوء (Light Emitting Diode-LED)

إن ما يميز الثنائي المشعة للضوء (LED) هو إطلاقه للضوء عند مرور التيار الكهربائي به نتيجة وجوده في حالة الانحياز الأمامي. تعتبر الثنائيات المشعة للضوء وسيلة مفيدة للإشارة إلى حالة دارة ما، وتتقدم على مصابيح الفتيلة التقليدية في الكثير من المزايا وأهمها احتياجها لقدر أقل من التيار التشغيلي ووثوقيتها العالية.

تصنع الثنائيات المشعة للضوء (LED) من فوسفيد الغاليوم ومن زرنيخيد فوسفيد الغاليوم. وتكون شدة

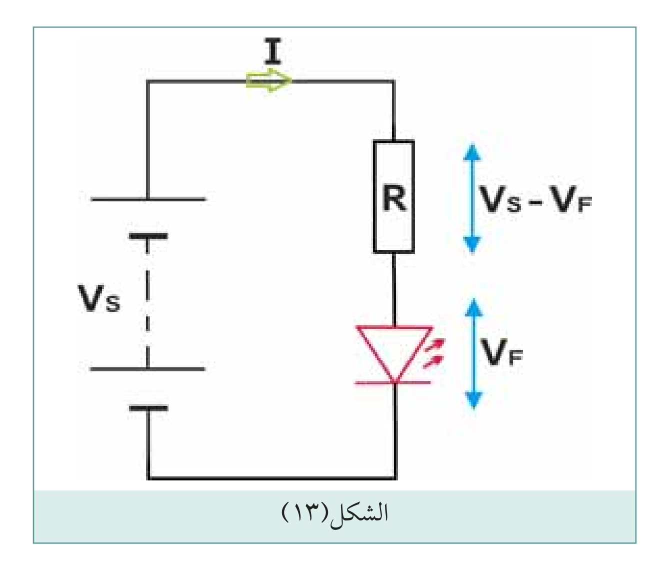
إنارتها ملائمة عند تيارات أمامية تتراوح ما بين (٥-٣٠) ميلي أمبير. وتتوفر الثنائيات المشعة للضوء بعدد محدود من الألوان وهي: الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق. كما تتوفر الثنائيات المشعة للأشعة تحت الحمراء (Infra-Red) غير المرئية والتي تستخدم في وحدات التحكم عن بعد (ريموت كونترول).

يعتمد لون الضوء الذي ينتجه الثنائي المشع للضوء على نوع المادة المصنوعة منها وصلة الثنائي وليس على لون الغلاف الخارجي للثنائي، وعلى سبيل المثال الثنائي المشع للضوء الأخضر يصنع من فوسفيد الغاليوم، ويبين الشكل (١٢) بعض أنواع الثنائيات المشعة للضوء.



الشكل (١٢): الثنائيات المشعة للضوء رمزها وأشكالها الشائعة

للحد من التيار الأمامي عند قيمة مناسبة، يلزم عادة توصيل مقاومة على التوالي مع الثنائي المشع للضوء، كما مبين في الشكل (١٣)، وتحسب قيمة المقاومة بوساطة المعادلة التالية:



الشكل(١٣)

$$R_S = \frac{V_S - V_F}{I}$$

حيث (V_F) هبوط الجهد الأمامي عبر الثنائي، و(V_S) جهد المصدر يمكن افتراض (V_F) تساوي (2) فولت، I قيمة مناسبة للتيار الأمامي تعتمد على لون وحجم الثنائي واختيار أقرب قيمة مفضلة للمقاومة (RS).

مـــثـــال

في الشكل(١٤) إذا كانت قيمة مصدر الجهد ١٢فولت ،وتيار الثنائي المشع للضوء (٢٠) ميلي أمبير(٠,٠٢ امبير)، أحسب القيمة المناسبة لمقاومة التوالي مع العلم أن هبوط الجهد الأمامي عبر الثنائي يساوي (٢) فولت.

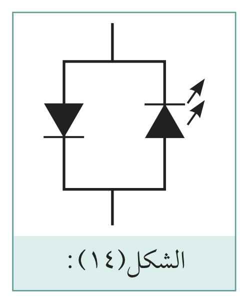
الحـــــــل

$$R_s = \frac{V_s - V_s}{I}$$

$$R_s = \frac{12 - 2}{0.02}$$

$$R_s = 1000\ \Omega$$

يجب الانتباه أن جهود الانهيار العكسية للثنائيات المشعة للضوء منخفضة لا تزيد عن (٥) فولت، وتجاوزها يؤدي إلى إعطاب الثنائي. إضافة إلى ذلك، وفي الدارات التي تتعامل مع جهود مترددة، من الضروري توصيل ثنائي سيليكوني تقليدي على التوازي والتعاكس مع الثنائي المشع للضوء كما في الشكل (١٤).



الشكل(١٤):

والجدير بالذكر أن العارض سباعي الشرائح (Seven Segment Display)يتركب من سبع ثنائيات مشعة للضوء، ويظهر الرقم اعتماداً على أي مجموعة من الثنائيات تضيئ في فترة معينة، كما مبين في الشكل (١٥). ويظهر الشكل أنواع أخرى من وحدات العرض تعتمد في تركيبها على الثنائيات المشعة للضوء.



الشكل(١٥): وحدات العرض

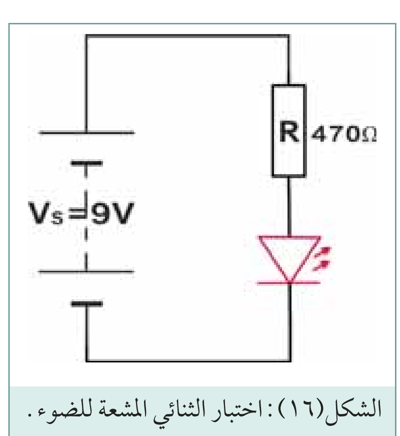
اختبار الثنائي المشعة للضوء

يمكن اختبار الثنائي المشعة للضوء بصورة سريعة باستخدام جهاز قياس الأوم، وبنفس الأسلوب المتبع في اختبار الثنائيات التقليدية كما ورد سابقا. وللحصول على نتائج أكثر دقة، يمكن بناء الدائرة البسيطة المبينة في الشكل(١٦).

٣ الثنائي السعوي – فاريكاب (Varicap)

ينتج هذا الثنائي تحت أسماء تجارية مختلفة مثل فاريكاب (Varicap) وفاركتور (Varactor)، وفولتكاب (Voltacap).

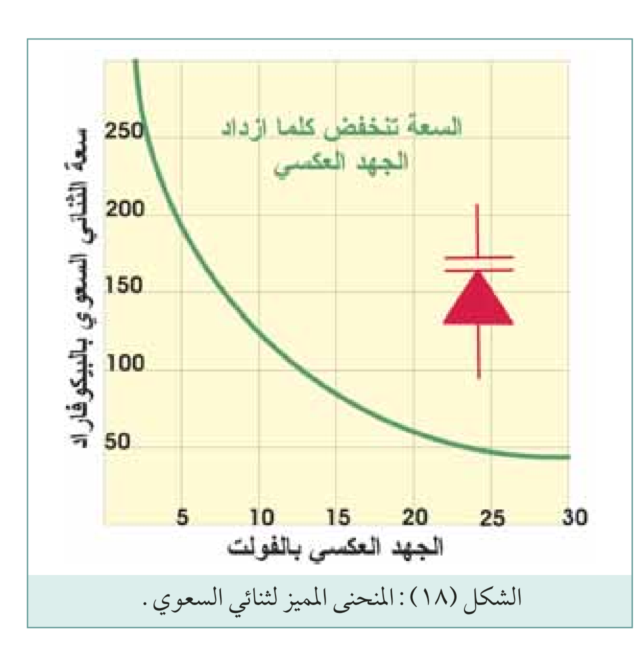
ويمكن التحكم بقيمة السعة التي يقدمها هذا الثنائي بتغير قيمة الجهد العكسي المسلط بين أقطابه. ويظهر المنحنى المميز لثنائي السعوي المبين في الشكل (٢٠)، إن قيمة السعة التي يقدمها الثنائي السعوي تنخفض من (٢٥٠-١٠) pF تقريباً، عند رفع قيمة الجهد العكسي من (صفر-٣٠) فولت. وهذا يعني أن العلاقة بين سعة الثنائي والجهد العكسي علاقة تناسب عكسي.



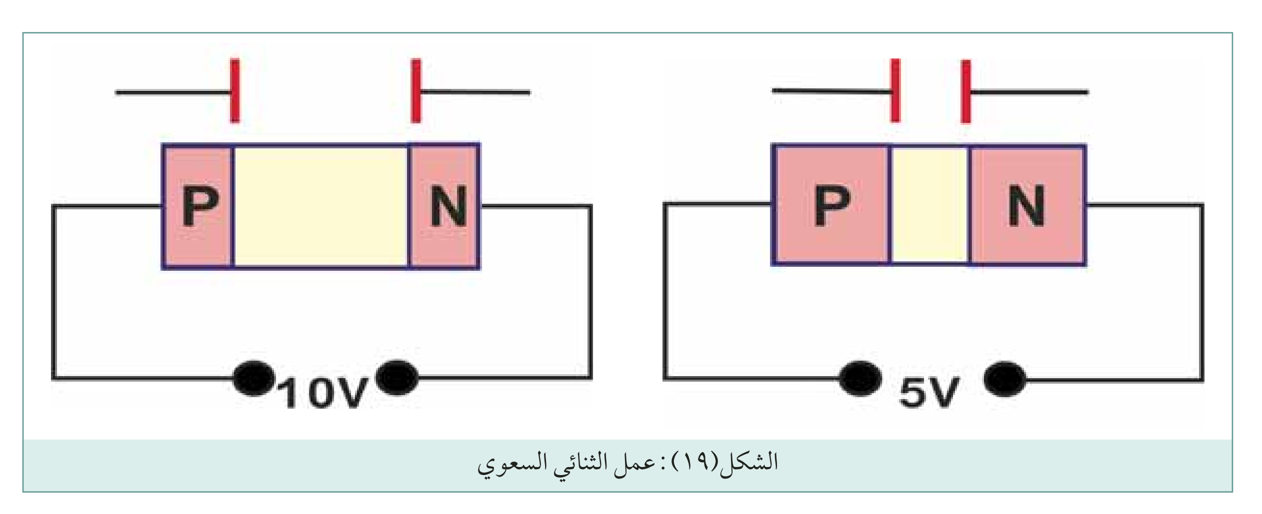
الشكل(١٦): اختبار الثنائي المشعة للضوء.

يستخدم الثنائي السعوي كمكثف متغير في دارات التوليف الإلكترونية، مثل وحدة منتخب القنوات (التيونر) في جهاز التلفزيون. حيث حل الثنائي السعوي محل المكثف المتغير ميكانيكياً، مما مكن من انتخاب وتوليف القنوات بأساليب إلكترونية بحتة.

إذا نظرنا إلى الثنائي السعوي في حالة الانحياز العكسي الشكل (٢١)، نجد أنه يناظر المكثف متوازي الألواح التقليدي. حيث تمثل المادة (P) والمادة (N) لوحي المكثف، بينما تلعب المنطقة القاحلة دور الوسط العازل. ويبين الشكل (٢١) كيف أن عرض المنطقة القاحلة يزداد بازدياد الجهد العكسي المطبق بين طرفي الثنائي، مما يؤدي إلى انخفاض السعة التي يقدمها الثنائي، والعكس صحيح.



الشكل (١٨): المنحنى المميز لثنائي السعوي.

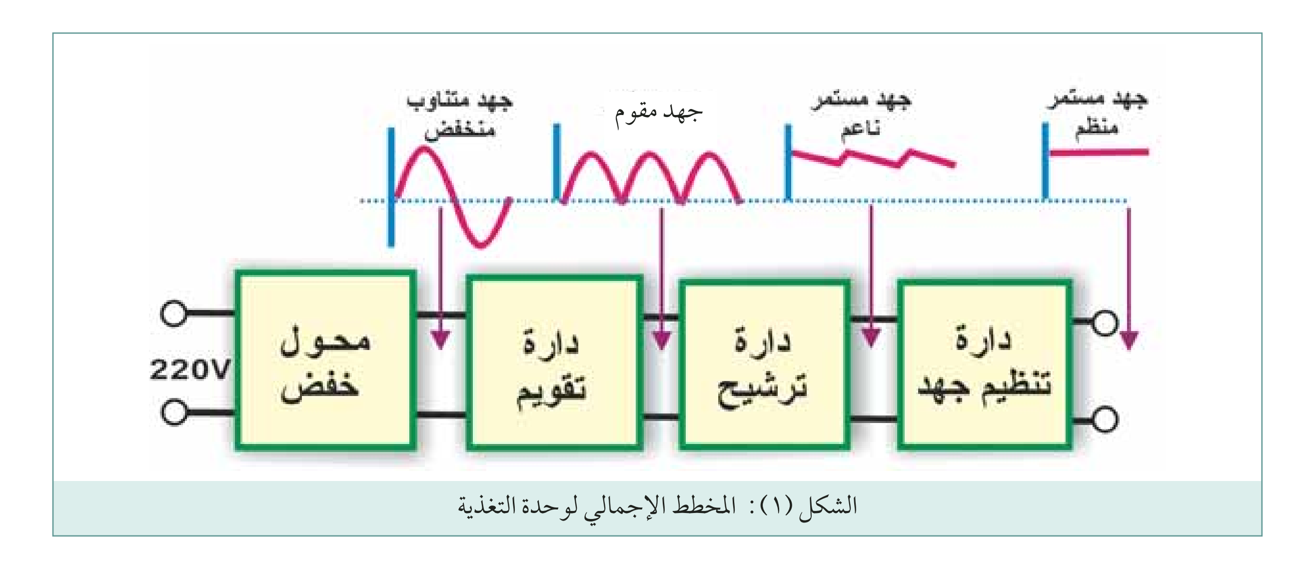


الشكل(١٩): عمل الثنائي السعوي



دارات التقويم (Rectifier Circuits)

تحتاج معظم الأجهزة الإلكترونية إلى جهد تغذية مستمر(D.C) وفي حالات قليلة مثل أجهزة الراديو الترانزيستورية والآلات الحاسبة تحصل على هذا الجهد من البطاريات. ولكن في معظم الحالات تحصل الأجهزة الإلكترونية على جهد التغذية المستمر من شبكة التيار العام(220v/A.C) حيث تستخدم دارة خاصة تسمى وحدة التغذية (Supply Power) لتحويل الجهد المتغير إلى جهد مستمر مناسب لتغذية الأجهزة الإلكترونية.



الشكل (١): المخطط الإجمالي لوحدة التغذية

يبن الشكل المخطط الإجمالي لوحدة التغذية ويمكن تلخيص وظيفة كل مرحلة من مراحل وحدة التغذية المبينة في الشكل(١) على النحو الآتي:

أ محول الخفض:

يستخدم المحول لخفض الجهد العام (220v/A.C) إلى قيمة مناسبة وذلك حسب حاجة الجهاز الإلكتروني.

دارة التقويم:

وهي قلب وحدة التغذية لأنها تقوم بتحويل موجة الجهد الجيبية (A.C) إلى جهد مقوم في اتجاه واحد.

ب دارة الترشيح:

تحتاج معظم الأجهزة الإلكترونية إلى جهد تغذية ثابت وناعم جداً، ولذلك فإن جهد خرج دارة التقويم غير مناسب لأنه غير ثابت القيمة وحتى يصبح هذا الجهد ثابتالقيمة تقريباً نحتاج إلى دارة ترشيح.

ج منظم الجهد:

في الحالات المثالية يجب أن نعطي وحدة التغذية جهد خرج ثابت القيمة، وعملياً من الصعب تحقيق ذلك، وهناك عاملان يمكن أن يؤديا إلى تغير جهد الخرج.

١ الجهد العام ليس ثابت بل يتغير بين (٢٠٠-٢٤٠) فولت.

٢ الحمل الكهربائي غير ثابت كلما زاد الحمل الكهربائي وزاد سحب التيار من وحدة التغذية انخفض جهد خرجها والعكس صحيح.

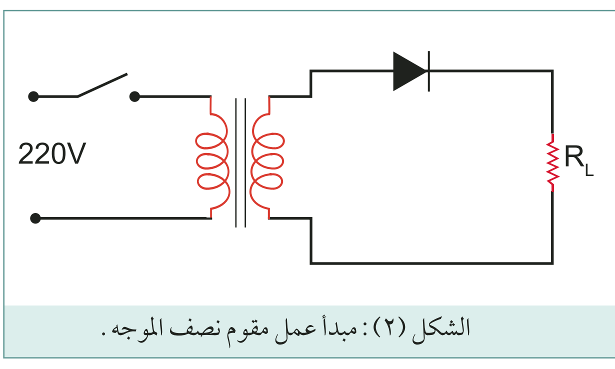
لذلك تستخدم دارات لتنظيم وتثبيت جهد الخرج بالرغم من التغيرات في جهد الدخل والحمل الكهربائي، وتسمى هذه الدوائر منظمات الجهد.

سنناقش في هذه الفقرة ثلاثة نماذج مختلفة من دارات التقويم، هي: دارة تقويم نصف الموجه، ودارة تقويم الموجة الكاملة ثنائية الطور، ودارة تقويم القنطرة.

١ مقوم نصف الموجه (Half wave)

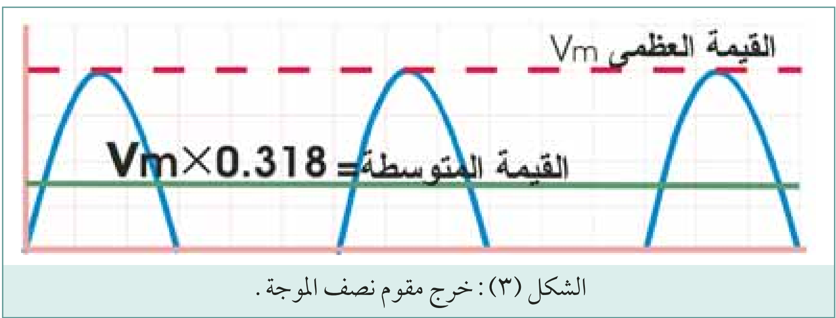
يبين الشكل (٢) دارة مقوم نصف الموجه، حيث يعمل المحول على خفض جهد الدخل (220v/A.C)إلى قيمة مناسبة حسب الحاجة. أما المقاومة فتمثل الجهاز المطلوب تغذيته بالتيار المستمر (الحمل الكهربائي).

خلال فترة نصف الدورة الموجب يكون الثنائي في حالة انحياز أمامي حيث أن المصعد موجب بالنسبة للمهبط وفي هذه الحالة يتصرف الثنائي كمفتاح في حالة توصيل (ON)، ويسمح بمرور التيار عبر الحمل وهكذا يمر عبر الحمل نصف الموجه الموجب من موجه الدخل الجيبية.



الشكل (٢): مبدأ عمل مقوم نصف الموجه.

خلال نصف الدورة السالب يكون الثنائي في حالة انحياز عكسي حيث أن المصعد موجب بالنسبة للمهبط ويتصرف كمفتاح في حالة قطع(OFF) لا يسمح بمرور التيار عبر الحمل وبالتالي لا يمر نصف الموجه السالب في الحمل.



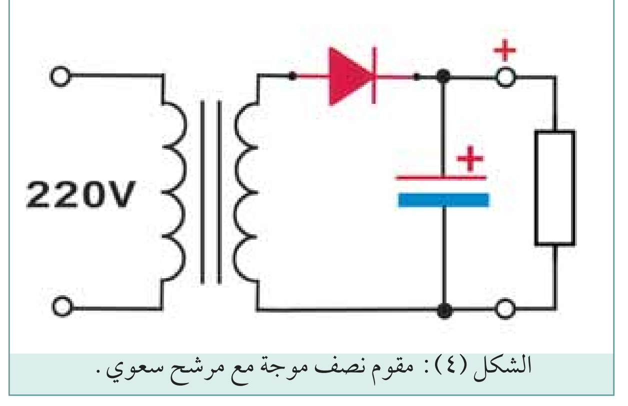
الشكل (٣): خرج مقوم نصف الموجة.

نلاحظ أن الموجه الجيبية للجهد قد تحولت إلى جهد مقوم غير ثابت القيمة، لاحظ الشكل(٣). ويمكن ملاحظة أنه يوجد نبضة خرج مقابل كل موجه دخل أي أن تردد النبضات هو نفس تردد موجة الدخل الجيبية وبالتالي فإن هناك (50) نبضة في الثانية الواحدة. تعطى القيمة المتوسطة للجهد في هذه الحالة بالعلاقة:

$$V_{(AVG)} = 0.45V_{rms}$$

٢ مرشحات وحدات التغذية (Power Supply Filters)

أ المرشح السعوي:



الشكل (٤): مقوم نصف موجة مع مرشح سعوي.

في أبسط أشكاله فإن مرشح وحدة التغذية ليس أكثر من مواسع موصول بين طرفي خرج دارة التقويم كما مبين في الشكل (٤).

عند وصول نبضة جهد إلى المواسع (C_1) يبدأ بالشحن حتى يصل الجهد بين طرفيه إلى القيمة العظمى لنبضه الجهد(V_m)، لاحظ الشكل(٥). عند اختفاء نبضة الجهد يبدأ المواسع (C_1) بالتفريغ في مقاومة الحمل (R_L) ويستمر في التفريغ إلى أن تصل نبضة جهد أخرى حيث يبدأ بالشحن إلى القيمة العظمى لنبضه الجهد، وهكذا نلاحظ أن المواسع يحاول الحفاظ على الجهد عند مستوى ثابت، يساوي تقريباً القيمة العظمى لجهد النبضة.

وبالتالي فإن جهد الخرج بين طرفي المواسع(V_{OUT}) يعطى بالعلاقة التالية:

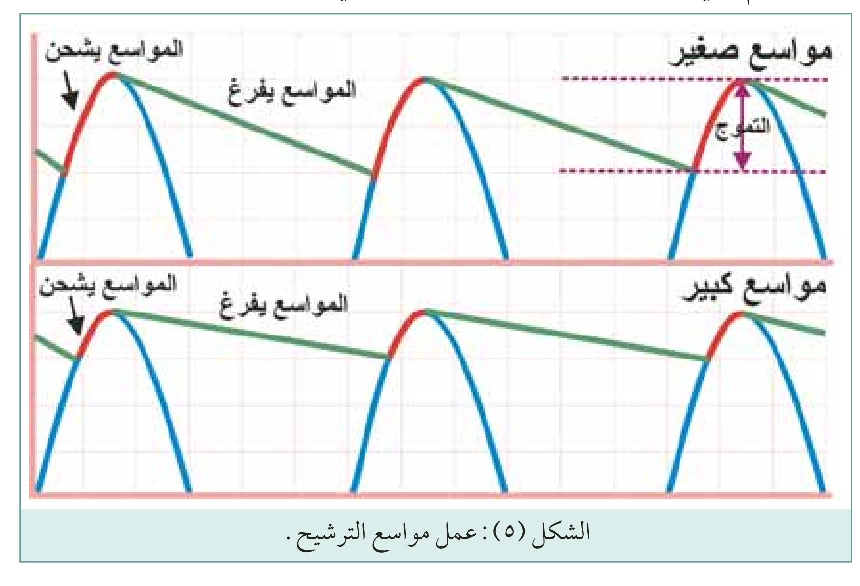
$$V_{out} = 1.414\ V_{rms} - 0.7$$

حيث أن:

V= القيمة الفعالة للجهد المغذى للمقوم، أي القيمة الفعالة لجهد الملف الثانوي للمحول.

0.7= قيمة هبوط الجهد عبر ثنائي التقويم.

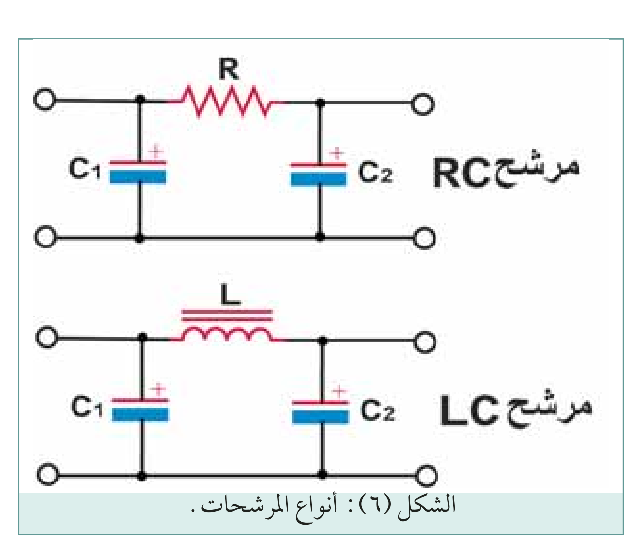
إن الشحن والتفريغ الطفيف للمواسع ينتج عنه جهد متموج(مركبة تيار متناوب)مركب على أعلى الجهد المستمر الثابت، وكلما كان التموج أقل كان الترشيح أفضل.



الشكل (٥): عمل مواسع الترشيح.

ب المرشح: (RC)

الجهد المستمر الذي نحصل عليه من المرشح السعوي البسيط يحتوي على نسبة مرتفعة من التموجات يمكن تخفيض نسبة التموجات بزيادة قيمة سعة مواسع التنعيم أو باستخدام دارة مرشح (RC)نموذج(π) المبين في الشكل (٦). هذه الدارة عبارة عن مرشح ترددات منخفضة تعمل على تمرير التيار المستمر ذو التردد المنخفض إلى الحمل (تردد التيار المستمر يساوي صفراً) ، وتمنع مرور جهد التموج ذو التردد العالي(50 أو 100 هيرتز) . إن سيئة هذا المرشح هي انخفاض جهد الخرج نتيجة لهبوط الجهد بين طرفي المقاومة (R).



الشكل (٦): أنواع المرشحات.

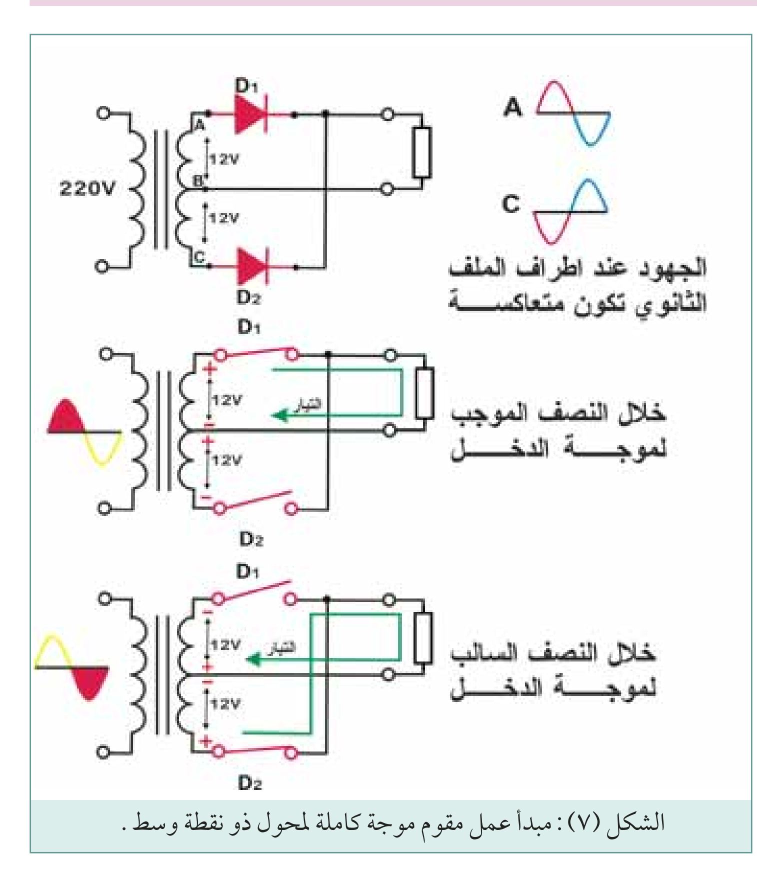
ج مرشح: (LC)

يمكن تحسين مرشح (RC) السابق باستبدال المقاومة (R) بالملف الخانق (L) لا الشكل (٦) وهكذا تم التغلب على مشكلة هبوط الجهد عبر المقاومة . أن سيئة هذا المرشح هي حجم ووزن وتكاليف الملف الخانق.

٣ مقوم موجة كاملة باستخدام محول ذو نقطة وسط

يبين الشكل(٧) دارة مقوم موجة كاملة باستخدام محول ذو نقطة وسط ثنائي الطور . تستخدم هذه الدارة ثنائيين ومحول بنقطة وسط . عند تأريض نقطة الوسط فإن الجهود عند أطراف الملف الثانوي تكون متعاكسة بمقدار (180) درجة وهذا يعني أنه عندما يكون جهد النقطة (A) موجباً يكون جهد النقطة(C) سالباً، وذلك بالنسبة لنقطة الوسط (B) وعندما يصبح جهد النقطة (A) سالباً يصبح جهد النقطة (C) موجباً.

خلال النصف الموجب لموجه الدخل الجيبية تكون النقطة(A) موجبة والنقطة (C) سالبة وذلك بالنسبة لنقطة الوسط(B) ، وبالتالي يكون الثنائي (D_1) في حالة انحياز



الشكل (٧): مبدأ عمل مقوم موجة كاملة لمحول ذو نقطة وسط.

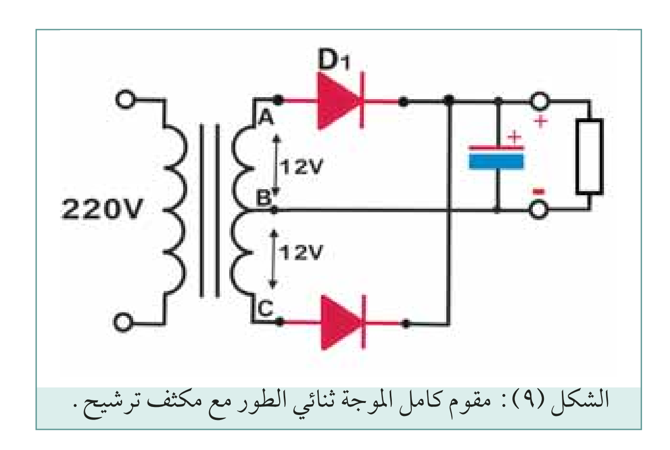
أمامي أما الثنائي (D_2) فيكون في حالة انحياز عكسي، وهكذا يمر نصف الموجه الموجب في مقاومة الحمل عبر الثنائي.(D_1)

خلال النصف السالب لموجه الدخل الجيبية يكون النقطة (A) سالبة والنقطة (C) موجبة وذلك بالنسبة لنقطة الوسط وبالتالي يكون الثنائي(D_1) في حالة انحياز عكسي والثنائي (D_2)في حالة انحياز أمامي وهكذا يمر نصف الموجه السالب في مقاومة الحمل عبر الثنائي.(D_2)

يمكن ملاحظة أن التيار يمر في نفس الاتجاه عبر الحمل في أثناء نصفي الموجه، وهذه هي مميزات مقوم كامل الموجه على دارة مقوم نصف الموجه التي تمرر نصف موجة واحد فقط في الحمل ويجب ملاحظة أنه يوجد نبضتي خرج مقابل كل موجه دخل أي أن تردد النبضات هو ضعف تردد موجة الدخل الجيبية وبالتالي فإن هناك (100) نبضة في الثانية الواحدة. كما أن القيمة المتوسطة للجهد المقوم في هذه الحالة تساوي ضعف القيمة المتوسطة للجهد المقوم التي تم الحصول عليها من مقوم نصف الموجة ، وتعطى بالعلاقة :

الشكل (٨) : خرج مقوم كامل الموجة .

$$V_{(AVG)} = 0.9V_{rms}$$



الشكل (٩) : مقوم كامل الموجة ثنائي الطور مع مكثف ترشيح .

يوصل في مخرج المقوم مرشح سعوي يعمل على تحويل الجهد المتموج إلى جهد مستمر ناعم. جهد الخرج بين طرفي المواسع (V_{out})يعطى بالعلاقة التالية :

$$V_{out} = 1.414\ V_{rms} - 0.7$$

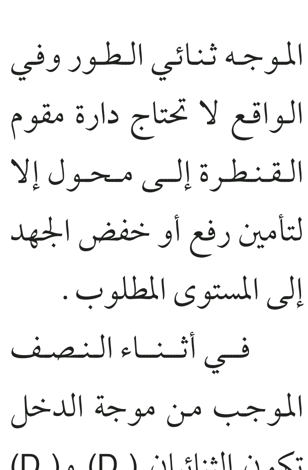
حيث أن :

V= القيمة الفعالة للجهد المغذى للمقوم، أي القيمة الفعالة لجهد الملف الثانوي للمحول .

0.7= قيمة هبوط الجهد عبر ثنائي التقويم .

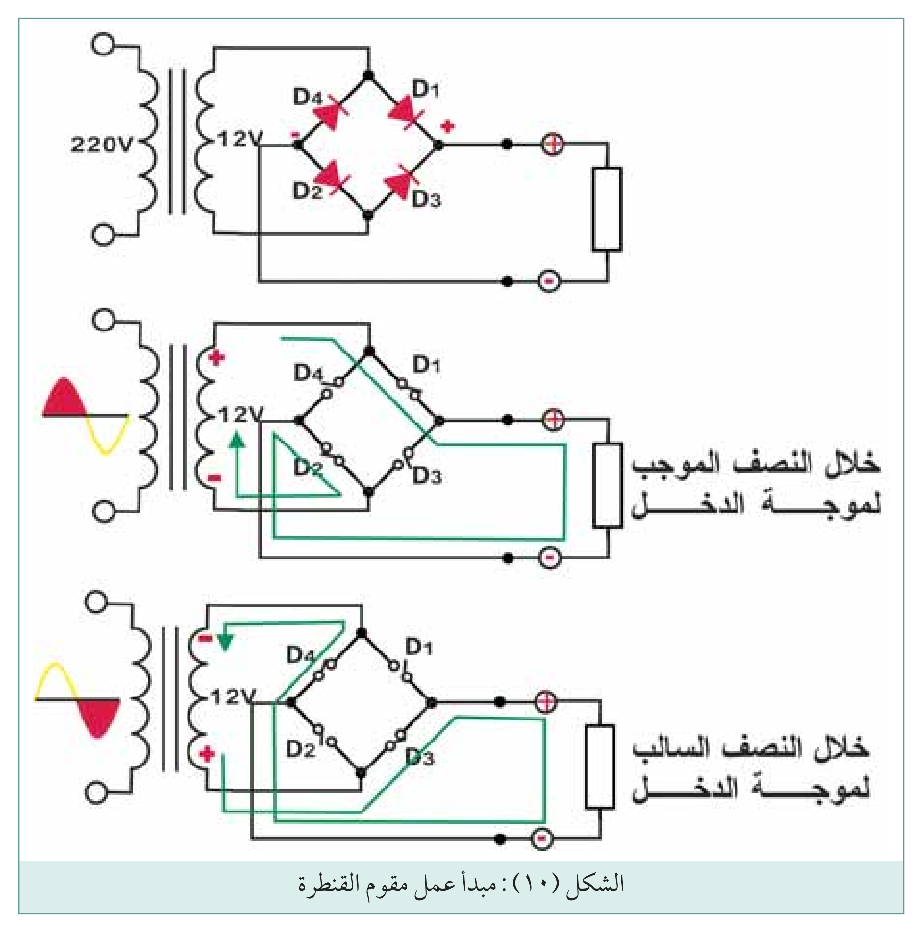
٤ مقوم القنطرة :(Bridge Rectifier)

يبين الشكل(١٠) دارة مقوم القنطرة وكما نلاحظ تتكون الدارة من أربع ثنائيات تقويم مرتبة بحيث يمر التيار في الحمل في اتجاه واحد فقط، كما أن مقوم القنطرة لا يحتاج إلى محول ذو نقطة وسط كما في دارة مقوم كامل



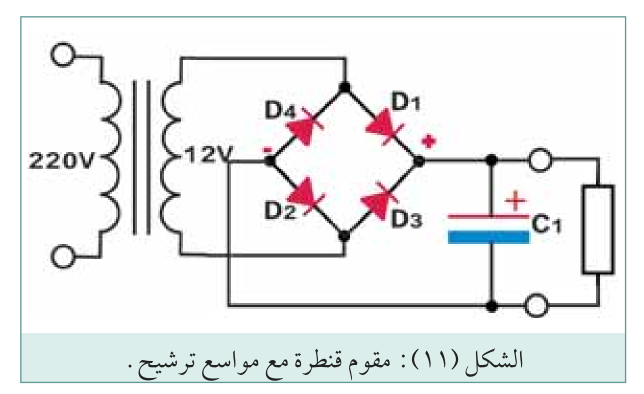
الموجه ثنائي الطور وفي الواقع لا تحتاج دارة مقوم القنطرة إلى محول إلا لتأمين رفع أو خفض الجهد إلى المستوى المطلوب.

في أثناء النصف الموجب من موجة الدخل تكون الثنائيان (D_1) و(D_2) في حالة انحياز أمامي، ويمر التيار عبر الثنائي (D_1) ومقاومة الحمل(R_L) والثنائي (D_2).



الشكل (١٠): مبدأ عمل مقوم القنطرة

في أثناء النصف السالب من موجة الدخل تكون الثنائيان (D_3) و(D_4) في حالة انحياز أمامي، ويمر التيار عبر الثنائي(D_3) ومقاومة الحمل(R_L) والثنائي (D_4) وهكذا يحصل الحمل(R_L) على سلسلة من الموجات المقومة ترددها (100HZ)، أي ضعف تردد موجة الدخل الجيبية (50HZ) ويوصل على مخرج مقوم القنطرة مواسع كيماوي ذو سعة عالية (أكبر من (100) ميكروفاراد يعمل على تنعيم الجهد النبضي، كما هو مبين في الشكل(١١).



الشكل (١١): مقوم قنطرة مع مواسع ترشيح.

جهد الخرج بين طرفي المواسع (V_{OUT})يعطى بالعلاقة التالية:

$$V_{out} = 1.414\ V_{rms} - 1.4$$

حيث أن :

V= القيمة الفعالة للجهد المغذى للمقوم، أي القيمة الفعالة لجهد الملف الثانوي للمحول.

=0.7 قيمة هبوط الجهد عبر ثنائي التقويم .

يمكن بناء مقوم القنطرة باستخدام أربعة ثنائيات تقويم مستقلة. كما يمكن استخدام مقومات القنطرة المتكاملة والتي تحتوي بداخلها على الثنائيات الأربعة، ويوضح الشكل (١٢)

الأشكال الشائعة لمقومات القنطرة المتكاملة.



الشكل (١٢): الأشكال الشائعة لمقومات القنطرة المتكاملة.

٥ مواصفات مقومات القنطرة المتكاملة

من أهم المواصفات التي يجب مراعاتها عند استبدال مقوم قنطرة تالف، أو اختيار مقوم قنطرة لاستخدامه في دارة معينة، ما يلي:

أ التيار الأمامي الأقصى(I_{FM}) :

هو أقصى تيار أمامي يمكن أن يمرره مقوم القنطرة دون أن يتلف.

ب الجهد العكسي الأقصى(V_{RRM}) :

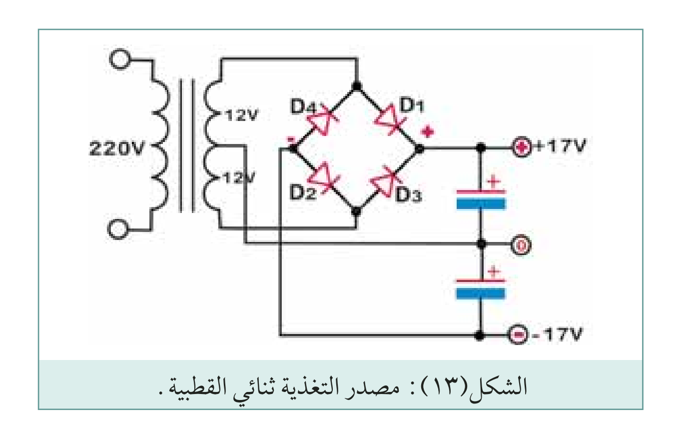
هو أقصى جهد يمكن أن يتحمله مقوم القنطرة في حالة الانحياز العكسي دون أن يتلف. ويبين الجدول المبين أدناه مواصفات بعض مقومات القنطرة الشائعة الاستخدام في الدوائر الإلكترونية.

النوع	العبوة / الشكل الفيزيائي	I_{FM}	V_{RRM}
السلسلة VM	دارة متكاملة (٤ أطراف)	0.9A	800v - 200v
السلسلة DF	دارة متكاملة (٤ أطراف)	0.9A	800V - 200V
السلسلة WO	أسطوانية	1A	800V - 50V
السلسلة SKB2	في خط	1.6A	800V - 200V
السلسلة KBPC	مربعة	6A-2A	800V - 200V
السلسلة KBU4	في خط	4A	880V-200V
السلسلةSKB25	مغموس بالايبكوسي	35A-6A	1200V-200V

٦ مصدر التغذية ثنائي القطبية

بعض الدارات الإلكترونية تحتاج إلى مصدر تغذية يوفر مخرج جهد موجب، ومخرج جهد سالب بالنسبة إلى الأرض. يمكن استخدام مقوم قنطرة ومحول بنقطة وسط لحصول على مصدر تغذية ثنائي القطبية، كما هو مبين في

الشكل (١٣). لاحظ أن كل مخرج جهد بحاجة إلى مواسع ترشيح كيماوي خاص به.



الشكل(١٣): مصدر التغذية ثنائي القطبية.

٧ قواعد سهلة وواضحة لحساب مكونات دارات التقويم

أ مواسع الترشيح:

يجب ان يتمتع مواسع الترشيح الكيماوي المستخدم مع دارات التقويم بمواصفات ملائمة، وأهم هذه المواصفات جهد التشغيل المقرر، وسعة المواسع بالميكروفاراد:

جهد التشغيل المقرر:

يجب أن يكون جهد التشغيل المقرر لمواسع الترشيح أكبر من جهد الخرج المتوقع لدارة التقويم عند فصل الحمل. ومن المعلوم أن جهد خرج مقوم كامل الموجه في حالة اللاحمل يعادل تقريباً القيمة العظمى لجهد موجه الدخل الجيبية، أي(1.4) مرة ضعف القيمة الفعالة لجهد موجه الدخل الجيبية (جهد الملف الثانوي). في حالة الحمل الكامل ينخفض جهد الخرج بعض الشيء (2 فولت تقريباً) نتيجة لهبوط الجهد الأمامي ضمن دارة مقوم القنطرة. ويعطي جهد الخرج (V_{out}) بالمعادلة التالية:

$$V_{out} = 1.4\,V - 2\,V_F$$

حيث أن:

V = القيمة الفعالة لجهد الدخل، أي جهد الملف الثانوي.

V_F = هبوط الجهد الأمامي، ويساوي 0.7 فولت لثنائي التقويم السيليكوني.

وعلى كل حال، وفي سبيل الحصول على هامش أمان معين، يجب أن يكون جهد التشغيل المقرر للمواسع ضعف القيمة الفعالة لجهد الدخل، أي ضعف جهد الملف الثانوي.

سعة المواسع:

تعتمد سعة المواسع الترشيح المناسب على تيار الحمل، وعلى مقدار التموج المسموح به. وهناك قاعدة عامة بسيطة لحساب قيمة سعة مواسع الترشيح المناسبة، وتنص هذه القاعدة على أن سعة مواسع الترشيح بالميكروفاراد

يجب أن تتراوح بين (200) إلى (500) أضعاف تيار الحمل الكامل بالأمبير. القيم الواردة في الجدول أدناه تتلاءم مع معظم التطبيقات:

تيار الحمل	سعة المواسع بالميكروفاراد
٠,٢٥ أمبير	٤٧٠-٢٢٠
٠,٢٥ أمبير	١٠٠٠-٤٧٠
٠,٥ أمبير	٢٢٠٠-١٠٠٠
(١) أمبير	٤٧٠٠-٢٢٠٠
(٢) أمبير	١٠٠٠٠-٤٧٠٠
(٤) أمبير	أو أكبر من ١٠٠٠٠

الجدول: (٢)

عندما تكون دارة التقويم متبوعة بدارة لتنظيم الجهد، فإنه بالامكان الاكتفاء بالقيمة الأصغر لسعة مواسع الترشيح.

ب ثنائيات التقويم:

يجب أن يتمتع الثنائي المستخدم في دارة التقويم بمواصفات ملائمة، وأهم هذه المواصفات هي القيمة القصوى للتيار الأمامي والجهد العكسي المقررة للثنائي التقويم:

التيار الأمامي الأقصى (I_{FM}):

عند استخدام ثنائيات مستقلة أو مقوم قنطرة متكامل، وفي سبيل توفير هامش أمان جيد، ينبغي تعديل كل ثنائي أو مقوم القنطرة على تيار أمامي أقصى يبلغ (1.5) مرة ضعف قيمة التيار المتواصل للحمل.

الجهد العكسي الأقصى(V_{RRM}):

للحصول على هامش أمان جيد، ينبغي تعديل كل ثنائي تقويم على جهد عكسي أقصى يعادل ضعف الجهد العكسي الأقصى الذي يمكن أن يتعرض له الثنائي ضمن دارة التقويم.

ويبرز الجدول المبين أدناه قيم الجهود العكسية التي تتعرض لها ثنائيات التقويم في دوائر التقويم المختلفة والتي تستخدم مرشحات سعوية. كما يبين الجدول القيمة المقترحة للجهد العكسي المقرر للثنائيات المستخدمة في دارة التقويم.

القيمة المقترحة للجهد العكسي المقرر	القيمة القصوى للجهد العكسي	نوع الدارة
أربعة أضعاف القيمة الفعالة لجهد المصدر	ضعف القيمة العظمى لجهد المصدر	مقوم نصف الموجة مع مرشح سعوي
أربعة أضعاف القيمة الفعالة لجهد المصدر	ضعف القيمة العظمى لجهد المصدر	مقوم كامل الموجة ثنائي الطور مع مرشح سعوي
ضعف القيمة الفعالة لجهد المصدر	القيمة العظمى لجهد المصدر	مقوم القنطرة مع مرشح سعوي

الجدول (٣)

مــــثـــــال

دارة مقوم كامل الموجه ثنائي الطور تستخدم محول خفض بنقطة وسط (220V/12.0.12)، ومقومين، ومواسع ترشيح.

الدارة تغذي حمل كهربائي بتيار مستمر مقداره (2) أمبير، جد ما يلي:

١ التيار الأمامي الأقصى المقرر للمقومات.

٢ الجهد العكسي الأقصى الذي تتعرض له المقومات.

٣ الجهد العكسي الأقصى المقرر للمقومات.

١ التيار الأمامي الأقصى المقرر:

في سبيل توفير هامش أمان جيد، ينبغي تعديل كل ثنائي على تيار أمامي أقصى يبلغ1.5 مرة ضعف قيمة تيار الحمل.

اذاً: التيار الأمامي الأقصى المقرر = $1.5 \times 2 = 3$ أمبير

٢ الجهد العكسي الأقصى الذي تتعرض له المقومات:

القيمة العظمى لجهد المصدر = $12 \times 1.4 = 16.8$ فولت

بالرجوع إلى الجدول (٣)

٣ القيمة القصوى للجهد العكسي = ضعف القيمة العظمى لجهد المصدر

$2 \times 16.8 = 33.6$فولت

٦ مضاعفات الجهد (Voltage Multipliers)

برزت الحاجة في دارات بعض الأجهزة الكهربائية إلى جهود عالية و تيارات منخفضة القيمة،كتلك المستخدمة في أفران الميكروويف .تستخدم لتوليد هذه الجهود العالية دارات خاصة تسمى مضاعفات الجهد

(Voltage Multipliers) حيث يتم مضاعفة الجهد الابتدائي (Vs) عدد من المرات حسب تصميم الدارة للحصول على جهود (..... ,2Vs, 3Vs,4Vs) .

يبين الشكل (١٤) دارة مضاعفة الجهد مرة واحدة والتي يتلخص عملها فيما يلي :

الشكل (١٤) : دارة مضاعفة الجهد .

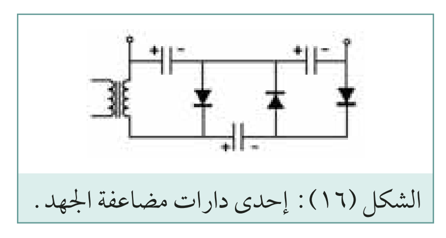
إذا تأملت الدارة تجد أنها تتكون من مقومين نصف موجة موصولين معا كما في الشكل(١٥) في النصف الموجب للموجة تكون النقطة (أ) موجبة والثنائي (D1) في حالة انحياز أمامي و الثنائي (D2) في حالة انحياز عكسي وبذلك يتم شحن المكثف (C1) إلى القيمة العظمى (Peak Value) لجهد المصدر (Vs=1.41Vi) بالقطبية المبينة في الشكل .

في النصف السالب للموجة تكون النقطة (أ) سالبة والثنائي (D1) في حالة انحياز عكسي والثنائي (D2) في حالة انحياز أمامي وبذلك يتم شحن المكثف (C2) إلى القيمة العظمى (Peak Value) لجهد المصدر(Vs=1.41Vi) بالقطبية المبينة في الشكل (١٥).

ويذلك يصبح الجهد الكلي على الحمل مجموع جهدي المكثفين (2Vs)

الشكل (١٥) : تحليل دارة مضاعفة الجهد .

سؤال : يبين الشكل (١٦) إحدى دارات مضاعفة الجهد اشرح عملها ؟


الشكل (١٦) : إحدى دارات مضاعفة الجهد .

